

Rediseño de la cámara de máquinas de un buque de carga, para la reducción de emisiones atmosféricas en la navegación por zonas ECAs

Trabajo de Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Cataluña

Trabajo realizado por:

Paula Delgado Rius

Dirigido por:

Santiago Ordás Jiménez

Grado en Sistema y Tecnologías Navales

Barcelona, 10 de septiembre de 2018

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



Agradecimientos

A Santiago Ordás por su orientación durante todo el transcurso del trabajo. Por ayudarme y guiarme a hacer más fácil la compaginación del trabajo de fin de grado con mis inicios en el mundo laboral. Gracias por la paciencia.

A mi familia y amigos por el apoyo que me han dado durante todos estos meses, por empujarme a no rendirme nunca y así poder conseguir mi objetivo.

A la naviera donde hice las prácticas extracurriculares por ayudarme y facilitarme la información necesaria para desarrollar el trabajo. Pero sobre todo gracias a toda la tripulación del buque tipo por darme la oportunidad de visitarlo el día que el buque desarrollaba operaciones en el puerto de Barcelona.

Muchas gracias a todos.





Resumen

El propósito de este trabajo de fin de grado es adaptar la cámara de máquinas de un portacontenedores para reducir las emisiones de SO_x y NO_x .

Se desarrollará el estudio de la normativa para que el buque tipo pueda navegar por zonas ECAs con el mismo combustible que la naviera utiliza actualmente. Las zonas de control de emisiones serán analizadas y estudiadas geográficamente. Al mismo tiempo se tendrán en cuenta aquellas zonas que en un futuro puedan serlo para ampliar la visión futura del transporte marítimo.

También se analizarán los gases contaminantes y los efectos que tienen estos en el medio ambiente y en los seres humanos.

Por otro lado se resumirán todos los métodos de reducción de emisiones de NO_x , tanto los que se llevan a cabo durante la combustión, métodos primarios. Como las soluciones que se pueden aplicar una vez ya se ha producido la combustión, métodos secundarios.

Se estudiarán diferentes tipos de scrubbers para la reducción de los óxidos de azufre y se comparan para elegir el más conveniente.

La última parte del trabajo será la experimental, la naviera operadora del buque se plantea abrir nuevas rutas donde el barco tendrá que navegar por zonas de emisiones controladas. Al mismo tiempo se busca reducir las emisiones puesto a que actualmente opera por el mar Mediterráneo zonas que un futuro tiene previsto ser zona ECA. Se estudiarán las emisiones primero sin los sistemas aplicados y después con la aplicación de los métodos para la reducción de emisiones con lo cual el buque estará preparado para empezar a navegar por zonas ECAs y al mismo tiempo contribuirá en la disminución de las emisiones emitidas a la atmósfera.

Abstract

The purpose of this thesis is to adapt the engine room of a container ship to reduce SO_x and NO_x emissions.

The study of the regulations will be developed so that the standard vessel can navigate through ECAs areas with the same fuel that the shipping company currently uses. The emission control zones will be analysed and studied geographically. At the same time, those areas that in the future may be considered will be taken into account in order to broaden the future vision of maritime transport.

The contaminating gases and the effects they have on the environment and on humans will also be analysed.

On the other hand, all methods of reducing NO_x emissions, both those carried out during combustion, primary methods, will be summarized. As solutions that can be applied once combustion has already occurred, secondary methods.

Different types of scrubbers for the reduction of sulphur oxides will be studied and compared to choose the most convenient one.

The last part of the work will be the experimental one, the shipping company operator plans to open new routes where the ship will have to navigate through areas of controlled emissions. At the same time, the aim is to reduce emissions, since there are currently zones in the Mediterranean Sea that are planned to be an ECA area in the future. The emissions will be studied first without the systems applied and then with the application of the emission reduction methods, with which the vessel will be prepared to start navigating through ECAs zones and at the same time it will contribute in the reduction of the emissions emitted to the atmosphere.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
LISTADO DE FIGURAS	VIII
LISTADO DE TABLAS	XI
 CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	 13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO	15
1.3 PRINCIPALES CONTAMINANTES	18
1.3.1 ÓXIDOS DE AZUFRE (SO _x)	18
1.3.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO _x)	21
1.3.3 PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN (PM)	23
1.3.4 DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	25
1.4 ZONAS ECAS	29
1.5 NORMATIVA REGULADORA DE LAS EMISIONES EN BUQUES	31
1.5.1 NORMATIVA QUE REGULA LAS EMISIONES DE SO _x Y PM	32
1.5.2 NORMATIVA QUE REGULA LAS EMISIONES DE NO _x	34
 CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES	 37
2.1 SOLUCIONES PRIMARIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO_x	37
2.1.1 RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE	37
2.1.2 INYECCIÓN DE H ₂ O A LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	39
2.1.3 EMULSIÓN DE AGUA EN COMBUSTIBLE	42
2.1.4 INYECCIÓN DE H ₂ O EN EL AIRE DE ADMISIÓN	43
2.2 SOLUCIONES SECUNDARIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO_x	45
2.2.1 REDUCCIÓN SELECTIVA CATALÍTICA	45
2.2.2 REDUCCIÓN SELECTIVA NO CATALÍTICA	47
2.3 SCRUBBER	47
2.3.1 SCRUBBER TIPO SECO	48
2.3.2 SCRUBBER TIPO HÚMEDO	49

2.3.2.1 ABIERTO	51
2.3.2.2 CERRADO	54
2.3.2 SCRUBBER HÍBRIDO	56
CAPÍTULO 3. REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE SO_x Y NO_x EN UN BUQUE PORTACONTENEDORES	59
3.1 ESPECIFICACIONES DEL BUQUE TIPO	59
2.3.2 RUTA DEL BUQUE TIPO	62
2.3.1 COMBUSTIBLE	65
3.1 ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE SO_x Y NO_x	67
2.3.1 RUTA BARCELONA- BEIRUT	68
2.3.1 RUTA BARCELONA- BREMERHAVEN	71
3.2 REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE SO_x Y NO_x	74
3.3 COSTE DEL ESTUDIO DEL PROYECTO	83
CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXO I: GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS	90

Listado de Figuras

Figura 1. La contaminación del puerto de Barcelona. [Fuente: Barcelona regional]	16
Figura 2. Emisiones de NO _x en Barcelona entre los años 2008-2018. [Fuente: Barcelona Regional]	17
Figura 3. Formación molecular de SO, SO ₂ y SO ₃ . [Fuente: propia]	19
Figura 4. Efecto invernadero. [Fuente: en medio.org]	27
Figura 5. Zonas ECAs. [Fuente: Va de barcos]	30
Figura 6. Límites del contenido en azufre de los combustibles por el ANEXO VI de Marpol. [Fuente: máquinas de barcos. Web: http://maquinasdebarcos.blogspot.com.es/]	34
Figura 7. Representación de los diferentes niveles de emisión de NO _x . [Fuente: tecnología marítima]	36
Figura 8. Sistema de recirculación de gases de escape. [Fuente: EGCSA, MAN explains]	38
Figura 9. Gráfico de la presión del cilindro y de los inyectores de agua y combustible. [Fuente: Ingeniero marítimo]	40
Figura 10. Direct Water Injection (DWI). [Fuente: NOX Reduction technologies for Marine Diesel Engines. Web: http://docplayer.net]	40
Figura 11. Simulación con CFD, de la circulación de emisiones. [Fuente: NOX Reduction Technologies for Marine Diesel Engines. Web: http://docplayer.net]	41
Figura 12. Emulsión de agua en combustible. [Fuente: Ingeniero marino]	42
Figura 13. Funcionamiento de un sistema HAM. [Fuente: Humid air motor, technology for green profits. Web: http://primeserv.mandieselturbo.com/]	43
Figura 14. Posición del SCR en un buque. [Fuente: YARA NO _x reduction]	46
Figura 15. Principales componentes de un scrubber húmedo. [Fuente: EGCSA]	50
Figura 16. Componente Venturi de Scrubber. [Fuente: DUSTEX clean air technologies]	52
Figura 17. Esquema del funcionamiento de un scrubber húmedo abierto. [Fuente: DUSTEX clean air technologies.]	53
Figura 18. Esquema del funcionamiento de un scrubber húmedo tipo cerrado. [Fuente: DUSTEX clean air technologies]	55
Figura 19. Esquema y componentes de un scrubber tipo híbrido. [Fuente: Hybrid scrubbers. Web: www.cleanshipsolutions.com] (13)	58
Figura 20. Buque portacontenedores. [Fuente: Marine traffic. Web: https://www.marinetraffic.com/]	60

Figura 21. Motor principal del buque tipo.[Fuente: propia]	61
Figura 22. Ruta Barcelona-Beirut. [Fuente: propia]	62
Figura 23. Ruta Barcelona-Bremerhaven.[Fuente: propia]	64
Figura 24. Límite zona SECA del norte de Europa. [Fuente: DSV, Global transport and logistics]	64
Figura 25. Especificaciones IFO-380. [Fuente: ENAP.Web: www.enap.cl]	65
Figura 26 . Precio estimado del IFO 380.[Fuente: Ship & bunker]	66
Figura 27. Precio estimado del ULSFO. [Fuente: Ship & bunker]	67
Figura 28.Tabla de factores de emisiones.[Fuente:European Environment Agency. Web: https://www.eea.europa.eu/] (15)	68
Figura 29. Scrubber Alfa Laval (MAN).[Fuente:Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu]	74
Figura 30. Esquema del funcionamiento de la unidad de limpieza de agua (WCU). [Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].	75
Figura 31. Unidad de limpieza de agua instalada en el buque. [Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].	76
Figura 32. Scrubber húmedo tipo cerrado instalado en el buque tipo. Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].	77



Listado de Tablas

Tabla 1. Reducción de emisiones de NO _x y PM ₁₀ en la ciudad de Barcelona. [Fuente: Barcelona Regional, de acuerdo con diferentes planes y actuaciones de diversos organismos competentes que se han consultado]	17
Tabla 2: Contenido máximo de azufre en el fueloil fuera de una ECA	33
Tabla 3: Contenido máximo de azufre en el fueloil dentro de una ECA.	33
Tabla 4: Emisiones permitidas de NO _x (nivel I). [Fuente: propia]	35
Tabla 5: Emisiones permitidas de NO _x (nivel II). [Fuente: propia]	35
Tabla 6: Emisiones permitidas de NO _x (nivel III). [Fuente: propia]	35
Tabla 7: Especificaciones básicas	60
Tabla 8: Ruta Barcelona-Beirut (datos de la ruta). [Fuente: propia]	62
Tabla 9: Ruta Barcelona-Bremerhaven (datos de la ruta). [Fuente: propia]	63
Tabla 10 : Emisiones de SO _x del buque tipo a una velocidad de 16 kn. [Fuente: Propia]	69
Tabla 11 : Emisiones de SO _x del buque tipo a una velocidad de 18 kn. [Fuente: Propia]	69
Tabla 12: Emisiones de NO _x en la ruta Barcelona-Beirut. [Fuente: propia]	70
Tabla 13: Emisiones de SO _x del buque tipo a una velocidad de 16 kn. [Fuente: Propia]	71
Tabla 14: Emisiones de SO _x del buque tipo a una velocidad de 18 kn. [Fuente: Propia]	72
Tabla 15: Emisiones de NO _x en la ruta Barcelona-Bremerhaven. [Fuente: propia]	73
Tabla 16. Dimensiones del scrubber según el fabricante. [Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu]	75
Tabla 17. Eficiencia del Scrubber instalado. Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu]	77
Tabla 18. Comparación de emisiones con la aplicación del Scrubber. Ruta Barcelona-Beirut. Fuente: propia]	78
Tabla 19. Comparación de emisiones con la aplicación del Scrubber. Ruta Barcelona-Bremerhaven. Fuente: propia]	79
Tabla 20. Reducción de emisiones de NO ₂ en métodos primarios y secundarios. [Fuente: Propia].	81
Tabla 21. Coste del estudio del proyecto. [Fuente: propia]	83



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es rediseñar la cámara de máquinas de un buque de carga para reducir las emisiones de los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Se pretende analizar todos los métodos de reducción de emisiones para adaptarlos al buque tipo y que este pueda navegar por zonas ECAs (Emission Control Area). Además se intentará optimizar desde el punto de vista energético para ofrecer mejoras medioambientales y de rendimiento del buque. Todo este proceso se llevará a cabo sin cambiar el combustible que propulsa este portacontenedores.

Se seguirá el anexo VI del Marpol **(1)** "Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques", el cual tiene unos límites de SO_x y NO_x establecidos. Esta adaptación surge a partir de que la naviera operadora del buque está expandiendo sus rutas y necesita buques que puedan circular por el mar Báltico. Actualmente solo opera por el Mediterráneo pero están intentando adaptar muchos de sus buques ya que son previsibles a las propuestas de ECA del mar Mediterráneo y del Estrecho de la Mancha, si bien es difícil predecir actualmente cómo se podrán satisfacer los requisitos en estas áreas de intenso tráfico marítimo.

A parte de fines legales y comerciales el sector marítimo es actualmente uno de los principales contaminantes de óxidos de azufre y de nitrógeno Causando graves problemas medioambientales que inciden negativamente en la salud de los seres humanos.

Por estos motivos se sintetizarán métodos de reducción de emisiones y se estudiará la posibilidad de que estos puedan ser aplicados a bordo del buque tipo.

Actualmente en el mar Báltico solo es obligatorio cumplir con la normativa de reducir las emisiones de óxidos de azufre pero en este proyecto se reducirán también los óxidos de nitrógeno no para cumplir legalmente sino para estudiar las posibles soluciones y que implicación tendrían si se aplican a este buque teniendo una visión futura e intentando que la contaminación de estos gases sea mínima.

Para el fin se estudiarán métodos primarios de reducción de emisiones de NO_x en los cuales se modificará el diseño de la combustión. Ya sea mediante la recirculación de gases de escape, con la inyección de agua en la cámara de combustión o con la inyección de aire en admisión. O también mediante procesos como la emulsión de agua en combustible, que es un proceso el cual las partículas de agua se vaporizan dentro de la mezcla con el combustible gracias a un aumento de temperatura, lo que lleva a evaporarlas de forma más rápida, gracias a la atomización del combustible. Por otro lado se analizaran los métodos secundarios como la reducción selectiva catalítica / no-catalítica la cuales intervienen después de que se haya llevado a cabo la combustión. Generalmente son procesos químicos donde se consigue la transformación de los NO_x en sustancias inocuas, como por ejemplo el vapor de agua.

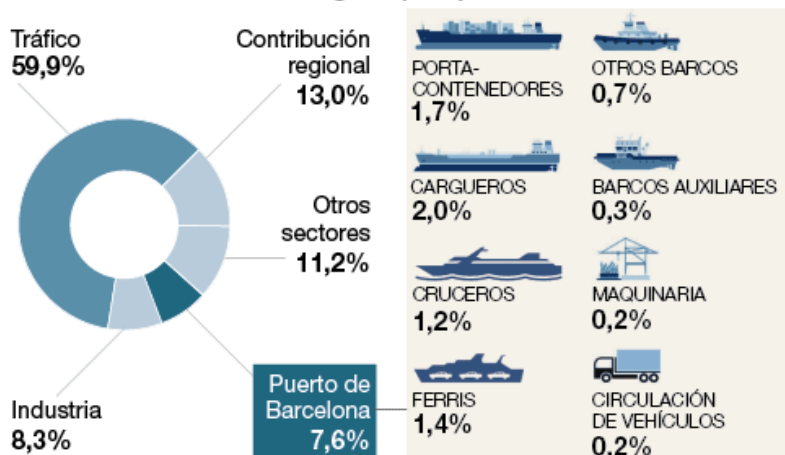
La reducción de emisiones de óxidos de azufre se controlará mediante sistemas scrubber, se estudiarán todos los tipos existentes y se valorará introducir uno de ellos en el buque de carga.

Finalmente se sintetizaran las emisiones sin aplicación de ningún sistema reductor y con la aplicación de este para poder conseguir que el buque circule por zonas ECA con el mismo combustible que utiliza en este momento pero instalando a bordo sistemas de reducción de SO_x y NO_x .

1.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Actualmente más del 90% del comercio mundial se realiza por mar. El transporte marítimo es considerado el sistema de transporte más eficiente y rentable para la mayoría de las mercancías y además puede considerarse el más seguro. A diferencia del transporte aéreo, el transporte por carretera o el transporte ferroviario, el marítimo permite enviar grandes cantidades de mercancías a un coste muy reducido. Actualmente hay más de 50.000 buques mercantes transportando todo tipo de carga. La flota mundial se ha registrado en más de 150 países .

Se calcula que los 20 barcos más grandes vierten más azufre en la atmósfera que los miles de millones de coches del planeta. La ONG Transport and environment **(2)** dijo "En las ciudades portuarias, las emisiones de buques son en muchos casos una fuente principal de contaminación, por ejemplo, el puerto de Barcelona genera cada día 15,2 toneladas de óxido de nitrógeno y la mayoría, el 92%, provienen de los barcos. El 7,6% de la nube tóxica se genera en los muelles y el principal enemigo de la calidad del aire es el tráfico con un 59,9%. A continuación se muestra una fotografía donde se puede observar el impacto que tiene la contaminación de los buques en el aire de la ciudad.

LA CONTAMINACIÓN DEL PUERTO DE BARCELONA**Emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) en la ciudad****Emisiones de la actividad portuaria**

	NOx		PM 10	
	(TONELADAS/AÑO)	% TOTAL	(TONELADAS/AÑO)	% TOTAL
Barcos	5.116,0	92%	489,59	97%
PORTACONTENEDORES	1.554,1	28%	148,06	29%
CARGUEROS	1.804,9	33%	182,75	36%
CRUCEROS	693,2	12%	62,40	12%
FERRIS	686,8	12%	70,33	14%
OTROS BARCOS	377,0	7%	26,05	5%
Barcos auxiliares	234,8	4%	5,35	1%
Maquinaria	80,6	1%	5,13	1%
Vehículos	114,4	2%	5,61	1%
Total	5.545,8	100%	505,68	100%

Fuente: Barcelona regional

EL PERIÓDICO

Figura 1. La contaminación del puerto de Barcelona. [Fuente: Barcelona regional]

Actualmente y al margen de las características técnicas, la infraestructura tiene previsto impulsar un cambio legislativo que permita bonificar las tasas que se aplican a los barcos que llegan a los muelles. El puerto de Barcelona ha empezado con un plan de medidas de mejora de calidad del aire lo cual ha estimado una reducción de NO_x y de materia particulada, PM₁₀. A continuación se muestran un estudio llevado a cabo por el Ayuntamiento de Barcelona (3),

Reducciones consideradas en el escenario de actuación 2018-A	Reducción de NO _x en el 2018-A	Reducción de PM ₁₀ en el 2018-A
Plan de Movilidad Urbana de Barcelona 2013-2018	374 t	41 t
Estrategia de autosuficiencia de Barcelona 2015-2024 (hasta el 2018)	39 t	0,6 t
Medidas de calidad del aire del Puerto de Barcelona	396 t	94 t
Total	809 t	135,6 t

Tabla 1. Reducción de emisiones de NO_x y PM₁₀ en la ciudad de Barcelona. [Fuente: Barcelona Regional, de acuerdo con diferentes planes y actuaciones de diversos organismos competentes que se han consultado]

Emisiones de NO _x (t/año)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014-T	2015-T	2016-T	2017-T	2018-T	2018-A
Tráfico viario	5.389,5	4.768,7	4.794,5	4.332,3	4.210,6	4.021,8	3.621,1	3.238,3	2.873,3	2.526,2	2.197,0	1.804,3
Sector doméstico	682,4	722,7	500,5	398,2	416,3	413,3	424,9	430,9	431,8	432,7	433,6	421,0
Sector terciario	275,7	281,4	310,9	246,2	258,9	258,3	253,2	254,3	261,6	267,8	273,5	268,1
Sector industrial difuso	536,0	536,8	641,2	687,9	675,2	673,7	642,1	648,5	654,6	656,6	655,7	653,9
Grandes focos industriales	986,2	1.690,1	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3	1.099,3
Puerto de Barcelona	6.303,9	5.698,2	5.906,4	5.786,2	5.666,0	5.545,8	5.800,0	6.054,2	6.308,4	6.562,5	6.816,7	6.420,6
Agricultura (de NO)	0,035	0,031	0,036	0,034	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
Emisiones naturales (de NO)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Total	14.175,4	13.699,7	13.254,6	12.551,9	12.328,1	12.014,0	11.842,4	11.727,3	11.630,9	11.547,0	11.477,7	10.669,0

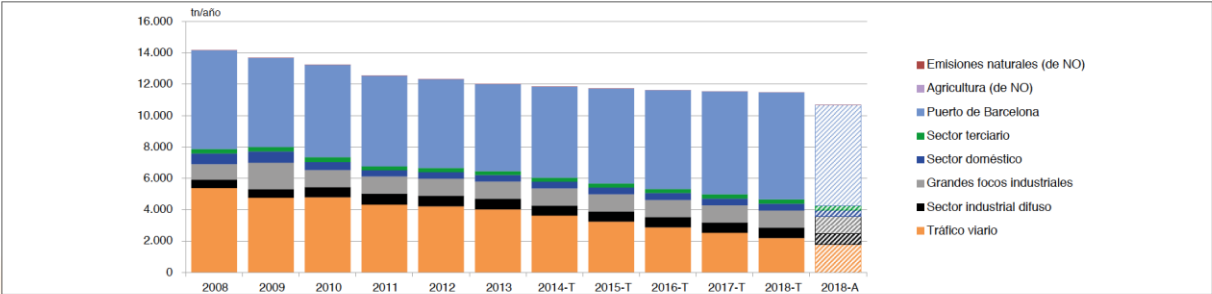


Figura 2. Emisiones de NO_x en Barcelona entre los años 2008-2018. [Fuente: Barcelona Regional]

En la figura 2 se puede observar como claramente el puerto de Barcelona encabeza la lista de emisiones de emisiones de NO_x por encima de los grandes focos industriales que tiene la ciudad condal.

En España solo se permite una rebaja del 5%, y al puerto le gustaría poder reducir el precio hasta un 40%, como ya hacen otras ciudades europeas, como Amberes, Hamburgo o Rotterdam. Ya que se considera que un 5% es insuficiente.

Actualmente los ecologistas estudian establecer un impuesto sobre las emisiones de nitrógeno ya que con ello llegarían a reducirlas en más de un 50%.

Entre las iniciativas para reducir el impacto de la actividad portuaria, la ciudad condal ha emprendido el programa BCN Zero Carbon, el cual tiene como objetivo el año 2020 llegar a ser un puerto neutro en emisiones de carbono .

Algún impulsos para conseguirlo son:

- Uso del GNL¹ como combustible para camiones, barcos y maquinaria portuaria
- La ECOcalculadora: un servicio online el cual permite calcular las emisiones de CO₂ de las cadenas logísticas y buscar las rutas alternativas más sostenibles

1.3 PRINCIPALES CONTAMINANTES

1.3.1 ÓXIDOS DE AZUFRE (SO_x)

El azufre es un elemento químico (S), no metal, con un fuerte olor característico y abundante ya que este se encuentra en todos los productos derivados del petróleo y de los lubricantes. En gasolinas, naftas y querosenos el contenido de S, queda reducido a trazas insignificantes.

¹ **GNL:** gas natural licuado. Es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida.

El dióxido de azufre es un gas incoloro y no inflamable. En la atmósfera dura unos 2 a 4 días, y casi la mitad de las emisiones vuelven a depositarse en la superficie.

El SO_2 tiene un efecto muy dañino en plantas, animales y humanos. En la atmósfera puede continuar oxidándose y formar trióxido de azufre SO_3 que reacciona con el vapor de agua que se encuentra en el aire para formar ácido sulfúrico. Este forma parte de la lluvia ácida, la cual es nociva para los seres vivos. En la figura 3, se observa la formación molecular de el monóxido, dióxido y trióxido de azufre.

Los óxidos de azufre se generan sobre todo durante la combustión, pues el azufre contenido en los combustibles se oxida en el proceso; por consiguiente, las emisiones de óxidos de azufre dependen casi exclusivamente del contenido de azufre del combustible y no del tamaño de la caldera, el diseño de los quemadores y motores de combustión interna o la calidad del combustible.

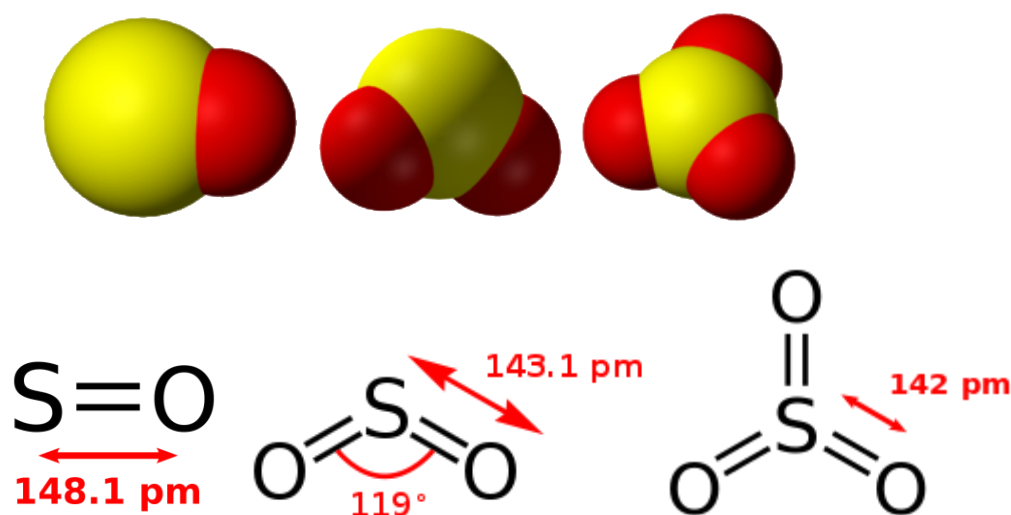


Figura 3. Formación molecular de SO , SO_2 y SO_3 . [Fuente: propia]

1.3.1.1 CONSECUENCIAS DE LAS EMISIONES DE SO_x

El azufre es un compuesto altamente nocivo para la salud de las personas. Por ejemplo, un nivel de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos por metro cúbico) de aire implica un riesgo potencial para la salud humana, pero para los árboles, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es extremadamente peligroso. Debido a eso, los óxidos de azufre (SO_x) y el ácido sulfúrico (H₂SO₄) se relacionan con el daño y la destrucción de la vegetación, deterioro del suelo, materiales de construcción, animales, lagos y ríos.

Efectos para la salud :

- Dificultad para respirar
- Inflamación de las vías respiratorias
- Irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas
- Alteraciones psíquicas
- Edema pulmonar²
- Paro cardíaco
- Colapso circulatorio
- Queratitis³

² **Edema pulmonar:** es una acumulación anormal de líquido en los pulmones, en especial los espacios entre los capilares sanguíneos y el alvéolo, que lleva a que se presente hinchazón. Es causado por una insuficiencia cardíaca.

³ **Queratitis:** es una inflamación que afecta a la córnea, es decir la porción anterior y transparente del ojo.

El dióxido de azufre también se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la mortalidad en personas mayores y niños.

Por lo contrario a pesar de ser un contaminante muy perjudicial, es también un aditivo alimenticio muy utilizado al tener características conservantes y antibacterianas. Se conoce como E220 y se emplea en vinos, cervezas, zumos, caramelos, yemas de huevo y otros productos con huevo.

En cuanto a los efectos de su consumo:

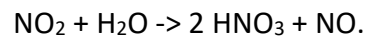
En dosis bajas provoca irritaciones en el tubo digestivo y hace inactiva la Vitamina B. En grandes dosis puede provocar dolores de cabeza, náuseas, vómitos, alergia, irritación de los bronquios y asma.

1.3.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

El nitrógeno (N) es un elemento químico el cual es el principal componente de la atmósfera terrestre y ocupa el 3 % de la composición del cuerpo humano. El término NO_x se refiere a la combinación de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2).

El dióxido de nitrógeno es el principal contaminante de los óxidos de nitrógeno, y se forma como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas. Se trata de una sustancia de color amarillento, que se forma en los procesos de combustión en los motores de combustión interna, externa (turbinas de gas) y calderas que se pueden encontrar en buques, aviones, vehículos motorizados y plantas eléctricas. Es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos en el

ambiente. Presenta buena solubilidad en agua, reaccionando y formando ácido nítrico (HNO_3) según la siguiente reacción:



Esta sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, pudiendo atacar materiales metálicos en presencia de agua.

1.3.2.1 CONSECUENCIAS DE LAS EMISIONES DE NO_x

Diversos estudios epidemiológicos muestran que la exposición aguda a NO_2 puede provocar lesiones en las vías respiratorias y en los pulmones, ocasionando una reducción de la capacidad pulmonar y una mayor sensibilidad a los alérgenos. En el caso de exposiciones prolongadas se observan cambios irreversibles en la estructura y función de los pulmones, especialmente en los niños y en las personas que padecen alguna patología respiratoria, como por ejemplo los asmáticos

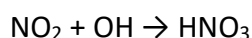
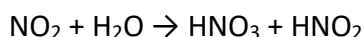
Una breve exposición a concentraciones elevadas puede ocasionar irritación en los pulmones y en los ojos. A largo plazo los efectos son peores, dificultan el desarrollo pulmonar de los niños y fomentan la aparición de enfermedades pulmonares e incluso cerebrovasculares⁴. Bastan $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono (O_3) para producir daños en las personas.

Además de sus efectos en la salud, los óxidos de nitrógeno causan importantes afectaciones al medio ambiente, y también puede provocar un aumento del calentamiento global.

⁴ **Cerebrovasculares:** disminución del flujo sanguíneo en el cerebro

El NO_2 al igual que el óxido de azufre se oxida fácilmente en el vapor de agua de las nubes hasta llegar a formar ácido nítrico (HNO_3), uno de los principales constituyentes de la lluvia ácida.

A continuación se muestra la reacción:



1.3.3 PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN (PM)

Las partículas en suspensión son todas las partículas sólidas y líquidas que se encuentran suspendidas en el aire. Estas partículas tienen una gran variedad de tamaños, desde grueso hasta fino y ultrafino. Por ello se clasifican según su medida y según cómo se comportan al respirarlas:

- Partículas de diámetro igual o inferior a $10 \mu\text{g}$ (**PM₁₀**) → Suelen llegar más allá de la garganta.
- Partículas de diámetro igual o inferior a $2,5 \mu\text{g}$ (**PM_{2,5}**) → Pueden llegar hasta los pulmones.
- Partículas ultrafinas, con un diámetro igual o inferior a $0,1 \mu\text{g}$, que pueden pasar de los alveolos pulmonares a la sangre.

También presentan composiciones y orígenes dispares. Estas pueden ser emitidas al aire de forma directa cuando provienen de fuentes como los procesos de combustión o el polvo arrastrado por el viento; o bien formarse en la atmósfera por la transformación de gases emitidos como el dióxido de azufre. **(4)**

1.3.3.1 CONSECUENCIAS DE LAS EMISIONES DE LAS PM

El tamaño de las partículas define su peligrosidad, por su distinta capacidad de penetración en el cuerpo humano como ya se ha explicado anteriormente. Además dependen de otras características físicas, químicas y biológicas la cuales pueden influir en la aparición de efectos negativos para la salud. Hay colectivos más propensos a tener problemas de salud como consecuencia de las partículas presentes en el aire, especialmente la gente mayor, los niños, las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares, y los asmáticos.

Las partículas ultrafinas son capaces de causar más problemas que las partículas más grandes y pueden comportar riesgo de morir por enfermedad isquémica del corazón o arritmia letal, al dejar pasar fácilmente estas partículas del aire inspirado hasta la sangre. También se apunta que el aumento en la concentración de $PM_{2,5}$ incrementa la frecuencia cardíaca y causa un mayor riesgo de arritmia.

1.3.3.2 REGULACIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

El Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire y que traspone una directiva europea establece los valores límite y objetivo de protección de la salud para las partículas PM_{10} y $PM_{2,5}$. **(5)**

PM_{10}

Valores límite vigentes a partir de 2005:

-Valor límite diario (VLd): $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Superación del valor límite diario: no se podrá superar más de 35 ocasiones por año [percentil] 90,4 igual o inferior a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Valor límite media anual (VLa): $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

PM_{2,5}

Valor objetivo vigente a partir de 2010:

- Valor objetivo anual: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Valor límite vigente a partir de 2015:

- Valor límite media anual (VLa): $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Margen de tolerancia del valor límite anual (MdTa): $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 2013 y 2014

Valor límite vigente a partir de 2020:

- Valor límite media anual (VLa): $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

1.3.4 DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante y normalmente se encuentra en la naturaleza en forma gaseosa, pero cuando se le somete a una presión y temperatura considerable baja se vuelve líquido y llega a ser sólido formando lo que se denomina hielo seco o nieve carbónica.

Un gas invernadero es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Es decir, actúan de manera similar al techo de vidrio de un invernadero, atrapando el calor y recalentando el planeta. El aumento de las temperaturas conduce al cambio climático que incluye efectos tales como el aumento del nivel del mar, cambios en los modelos de precipitación que producen inundaciones y sequías

La concentración atmosférica de CO_2 ha sufrido un considerable aumento en el siglo XX, especialmente en sus últimas décadas. Junto con el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono troposférico y el metano conforman los llamados gases de efecto invernadero.

El cambio climático es la mayor amenaza a la que se enfrenta la humanidad y sus efectos ya son visibles en todo el mundo. El transporte y la quema de combustibles fósiles son las dos causas principales de este fenómeno debido a las emisiones de gases de efecto invernadero que generan.



Figura 4. Efecto invernadero. [Fuente: en medio.org]

1.3.4.1 CONSECUENCIAS DE LAS EMISIONES DE LAS CO₂

A demás del calentamiento global producido por los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono también afectan a los animales, los seres humanos, las plantas y el medio marino.

En los animales de sangre caliente, este gas no es tóxico en pequeñas dosis, pero mata por asfixia a partir de un cierto umbral y duración a la exposición del CO₂.

En las plantas a dosis menores ayuda a estimular su crecimiento, pero solo enriquece hasta cierto límite ya que una vez sobrepasados los umbrales, el gas podría generar la acción opuesta.

De todas formas actualmente el efecto invernadero se usa para cultivar plantas en condiciones que no darían su fruto si no se usara este método.

En los humanos el CO₂ solo es tóxico en altas concentraciones. Nuestro sistema respiratorio y circulatorio es muy sensible al dióxido de carbono ya que un pequeño incremento en la concentración de CO₂ en el aire inspirado, acelera casi inmediatamente el ritmo respiratorio.

- A partir de 0,1%, (1000 ppm⁵), el CO₂ se convierte en uno de los factores de asma. Esta concentración es el máximo permitido para el diseño de sistemas de aire acondicionado, en el interior de los edificios y de las viviendas.
- Por encima de 0,5%, (5000 ppm), es la exposición ocupacional máxima que se permite en la mayoría de los países, y el máximo permitido para el diseño de equipos de aire acondicionado en los aviones no debe sobrepasarlo.
- 3 veces esa tasa (1,5 %, o 15000 ppm) es la exposición laboral máxima por un máximo de 10 minutos.
- A partir de 4% de CO₂ en el aire, (40000 ppm) se alcanza el umbral de efectos irreversibles sobre la salud. Este es el umbral mínimo que obliga a una evacuación inmediata de los locales
- A partir del 10% y una exposición superior a 10 minutos sin un recurso de reanimación rápida, se produce la muerte.

⁵ **ppm**: partes por millón es una unidad de medida con la que se mide la concentración. 10 000 ppm = 1 %.

1.4 ZONAS ECAS

La Organización Marítima Internacional (OMI) es la autoridad mundial encargada de establecer normas para la seguridad, la protección y el comportamiento ambiental que ha de observarse en el transporte marítimo internacional. Su función principal es establecer un marco normativo para el sector del transporte marítimo que sea justo y eficaz ya que el transporte marítimo es una industria verdaderamente internacional, y sólo puede funcionar de manera eficaz si sus reglamentos y normas se acuerdan, adoptan y aplican a nivel internacional.

Debido a los problemas con la lluvia ácida en el norte de Europa se crearon las SECAs (Sulphur Emission Control Areas) son áreas donde las emisiones de azufre contaminantes producidas por la quema de los combustibles marinos están estrictamente controladas. Las zonas SECA están sometidas a un estricto control de las emisiones originadas por los buques. En estas áreas, situadas actualmente en el Mar del Norte, Mar Báltico, Canal de la Manga y las costas Este y Oeste de los Estados Unidos de América, sólo pueden navegar los barcos propulsados por combustibles que emitan menos 0'1% de azufre a la atmósfera, como especifican la normativa europea y el Anexo VI del Convenio Marpol 73/78.

Por otro lado el termino ECAS (Emission Control Areas) es más amplio que el SECAs ya que no tiene solo en cuenta las emisiones a la atmósfera de azufre sino que también de otros contaminantes como el óxido de nitrógeno (NO_x), el dióxido de carbono (CO₂) y partículas.

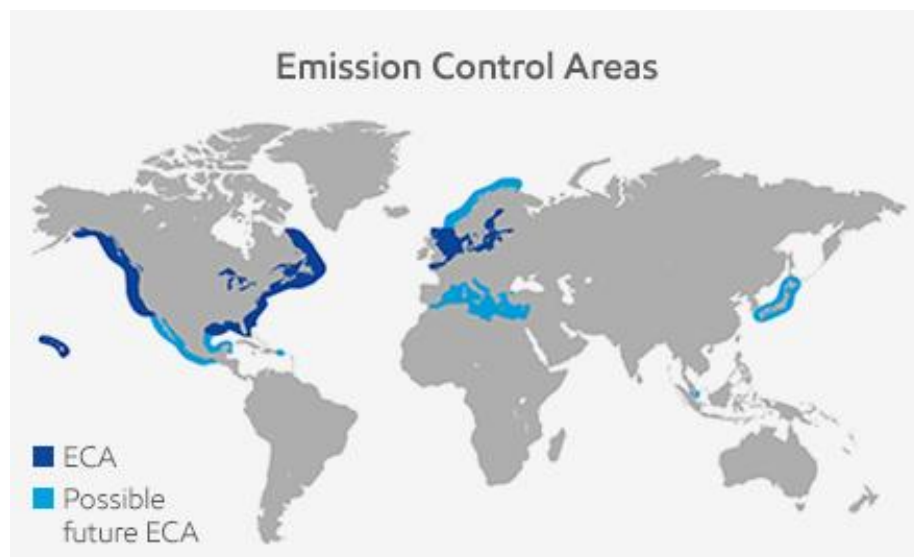


Figura 5. Zonas ECAs. [Fuente: Va de barcos]

El Mar Báltico fue designado SECA en el Protocolo original relativo al Anexo VI del Convenio MARPOL125, y en 2007 se añadieron el Mar del Norte después de unas negociaciones iniciadas por los Estados miembros de la Unión Europea.

Más recientemente la OMI aprobó la entrada en vigor el 1 de agosto de 2012 de la ECA (SOx, NOx y materia particulada) solicitada por Estados Unidos y Canadá, y a la que posteriormente se sumó Francia, que abarca las aguas adyacentes hasta 200 millas náuticas de la costa del Pacífico, la costa del Atlántico, así como las Islas Hawái y las aguas de los territorios franceses de Saint-Pierre and Miquelón¹²⁷. Finalmente, en julio de 2011 la OMI adoptó nuevas enmiendas al Anexo VI del Convenio MARPOL designando ECA las aguas adyacentes a las costas de Puerto Rico y las Islas Vírgenes de Estados Unidos, que entró en vigor el 1 de enero de 2014.

Es de esperar que la OMI considere en el futuro próximo otras propuestas de Zonas de Control de Emisiones. Las más previsibles serían las aguas costeras de México y Japón, así como las aguas árticas de Noruega.

También son previsibles las propuestas de ECA del mar Mediterráneo y del Estrecho de Mancha, si bien es difícil predecir actualmente cómo se podrán satisfacer los requisitos de estas zonas en estas áreas de intenso tráfico marítimo.

En la figura 4 se muestra una representación de las Zonas de Control de Emisiones existentes de acuerdo con el vigente Anexo VI del Convenio MARPOL, así como las posibles nuevas Zonas de Control de Emisiones que podrían ser consideradas por la OMI para su futura adopción.

Hasta la fecha se han establecido cuatro distintas Zonas de Control de Emisiones para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques **(6)**. Estas son las siguientes:

- Mar Báltico → Zona de control de emisiones de SO_x
- Mar del Norte → Zona de control de emisiones de SO_x
- Norteamérica → Zona de control de emisiones de SO_x, Nox y partículas.
- Mar caribe de los Estados unidos → Zona de control de emisiones de SO_x, Nox y partículas.

1.5 NORMATIVA REGULADORA DE LAS EMISIONES EN BUQUES

En 1973, la OMI adoptó el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, conocido universalmente como MARPOL, el cual ha sido enmendado por los Protocolos de 1978 y 1997 y se mantiene actualizado a través de las enmiendas pertinentes.

El MARPOL, se compone de los seis anexos siguientes:

- Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos

- Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel
- Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques
- Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques
- Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques

Este trabajo se centrará en el último anexo del MARPOL, ya que se pretende reducir las emisiones de los gases de escape para que el buque pueda circular por zonas ECAs, por lo que se ceñirá a las reglas establecidas en el anexo VI de esta normativa.

1.5.1 NORMATIVA QUE REGULA LAS EMISIONES DE SO_x Y PM

Esta normativa se aplica a equipos y dispositivos que funcionan con todo tipo de fueloil, por lo cual estarán incluidos los motores principales y auxiliares, las calderas y generadores de gas inerte. Los controles de SO_x y PM se dividen entre los controles que se aplican tanto dentro como fuera de las Emission Control Area.

Los límites de contenido de azufre en el fueloli serán expresados en % (masa/masa)

A continuación se muestra la tabla 2 la cual muestra el contenido de azufre permitido fuera de una ECA:

Fecha aplicable	Contenido de azufre
Antes del 1 de enero de 2012	4,5% masa/masa
A partir del 1 de enero de 2012	3,5 % masa/masa

A partir del 1 de enero de 2020	0,5% masa/masa
---------------------------------	----------------

Tabla 2: Contenido máximo de azufre en el fueloil fuera de una ECA

Seguidamente se adjunta la tabla 3 donde se muestra el contenido de azufre dentro de una ECA:

Fecha aplicable	Contenido de azufre
Antes del 1 de julio de 2010	1,5% masa/masa
A partir del 1 de julio de 2010	1,0 % masa/masa
A partir del 1 de enero de 2015	0,1% masa/masa

Tabla 3: Contenido máximo de azufre en el fueloil dentro de una ECA.

En la figura 6 se observa la restricción del contenido de azufre que emiten los barcos en función si circulan por dentro o por fuera de las zonas ECA. Como se visualiza , dentro de unos años, prácticamente el contenido de azufre será muy parecido, por lo que ahora es el momento de indagar nuevos métodos para reducirlo, ya que probablemente en unos años, ya no habrá distinción entre normativa.

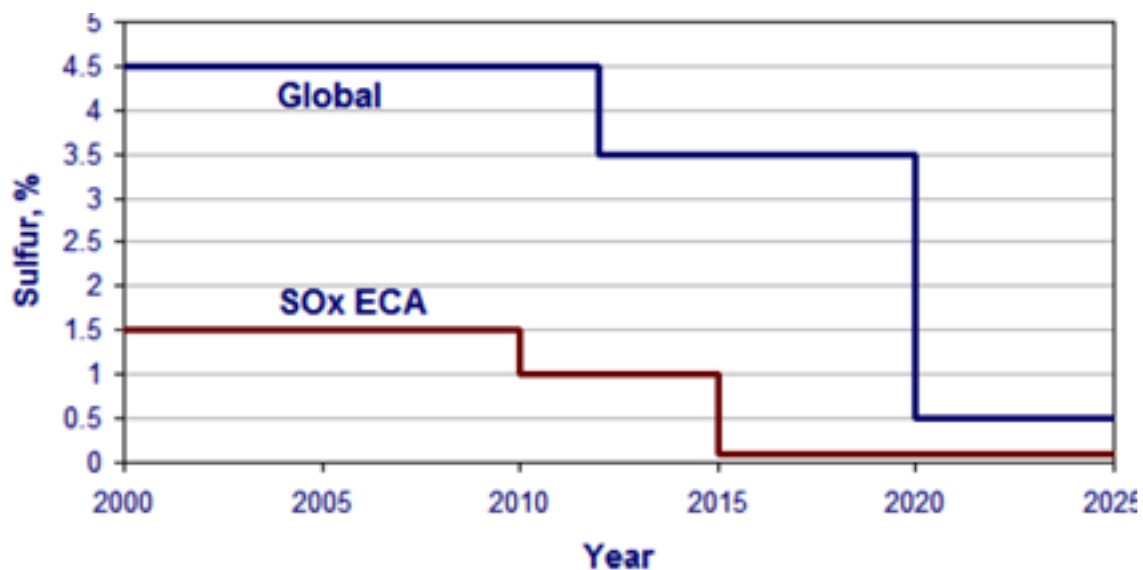


Figura 6. Límites del contenido en azufre de los combustibles por el ANEXO VI de Marpol. [Fuente: máquinas de barcos. Web: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com.es/>]

1.5.2 NORMATIVA QUE REGULA LAS EMISIONES DE NO_x

En el convenio MARPOL se regula el control de emisiones de NO_x mediante la regla número 13. Se especificará la emisión máxima de g NO_x/kWh en función del régimen nominal del motor en rpm y del año de construcción del buque.

La normativa será aplicada a todo motor marino con una potencia de salida de 130 kW instalados en buques contruidos a partir del 1 de enero del 2000 o a todo motor que haya sufrido una transformación importante después de esa misma fecha.

Los controles de nivel III sólo se aplican a buques específicos mientras navegan en las zonas de control de las emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NO_x; fuera de dichas zonas se aplican controles de nivel II.

El MARPOL especifica tres niveles:

NIVEL I : Buques contruidos entre el 01/01/2000 y 01/01/2011	
Régimen nominal del motor (n)	Emisión de NOX permitida
$n < 130$ rpm	17,0 g NO _x /kWh
$n \geq 130$ rpm y $n < 2000$ rpm	$45 \cdot n^{(-0,2)}$ g NO _x /kWh
$n \geq 2000$ rpm	9,8 g NO _x /kWh

Tabla 4: Emisiones permitidas de NO_x (nivel I).[Fuente: propia]

NIVEL II : Buques contruidos a partir del 01/01/2011	
Régimen nominal del motor (n)	Emisión de NOX permitida
$n < 130$ rpm	14,4 g NO _x /kWh
$n \geq 130$ rpm y $n < 2000$ rpm	$44 \cdot n^{(-0,23)}$ g NO _x /kWh
$n \geq 2000$ rpm	7,7 g NO _x /kWh

Tabla 5:Emisiones permitidas de NOX (nivel II).[Fuente: propia]

NIVEL III : Buques contruidos a partir del 01/01/2016	
Régimen nominal del motor (n)	Emisión de NOX permitida
$n < 130$ rpm	3,4 g NO _x /kWh
$n \geq 130$ rpm y $n < 2000$ rpm	$9 \cdot n^{(-0,2)}$ g NO _x /kWh
$n \geq 2000$ rpm	2,0 g NO _x /kWh

Tabla 6:Emisiones permitidas de NOX (nivel III).[Fuente: propia]

Se engloba toda la normativa por niveles en la figura 6, la cual muestra la comparación del régimen nominal del motor con el consumo de NO_x mediante un gráfico.

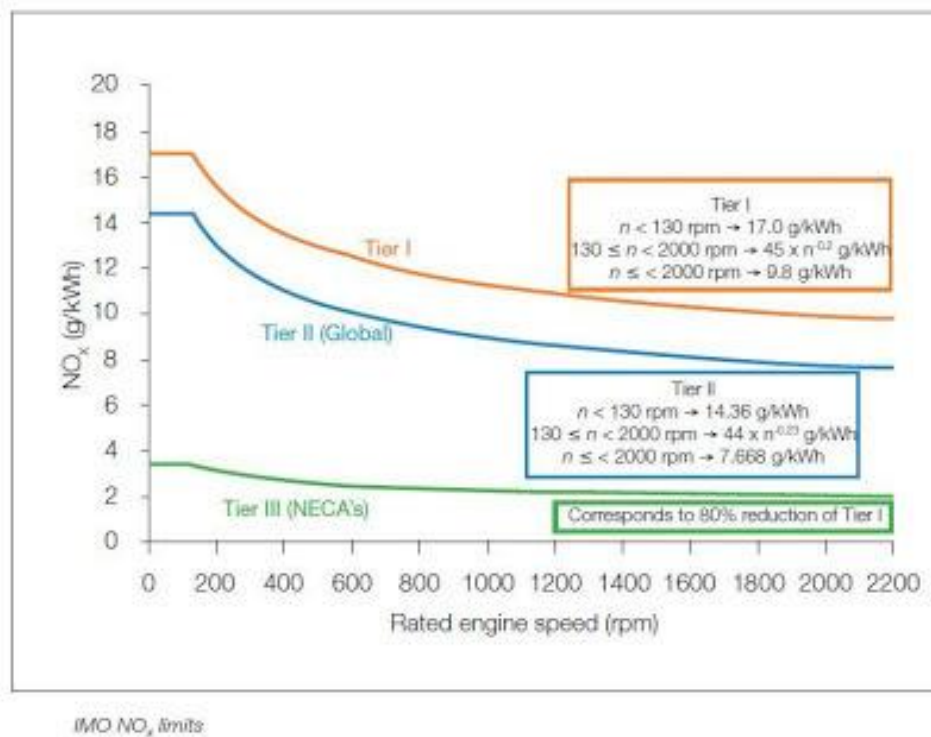


Figura 7.Representación de los diferentes niveles de emisión de NO_x. [Fuente: tecnología marítima]

CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

2.1 SOLUCIONES PRIMARIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO_x

Las soluciones primarias se basan en la modificación o el diseño de los sistemas de combustión en instalaciones. Es decir, actúan directamente sobre el proceso de combustión evitando y reduciendo la formación de sustancias contaminantes.

2.1.1 RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE

Una parte de los gases de escape del motor principal se recirculan a través de un circuito cerrado. EGR , Exhaust Gas Recirculation, este sistema del motor se encarga de redirigir parte de los gases de escape que todavía contienen partículas de combustible sin quemar y los introduce de nuevo a la admisión para que vuelvan a entrar en combustión. Este sistema enfría y mezcla cantidades dosificadas de gases de escape con el aire fresco de admisión, con el fin de reducir la temperatura máxima de combustión del motor, reduciendo así la proporción de óxidos de nitrógeno.

Por otro lado si el combustible usado contiene un alto contenido de azufre, la válvula EGR también puede combinarse con un depurador de gases de escape después del receptor principal. (7)

A continuación se observa el esquema de funcionamiento de la recirculación de gases de escape para un motor marino:

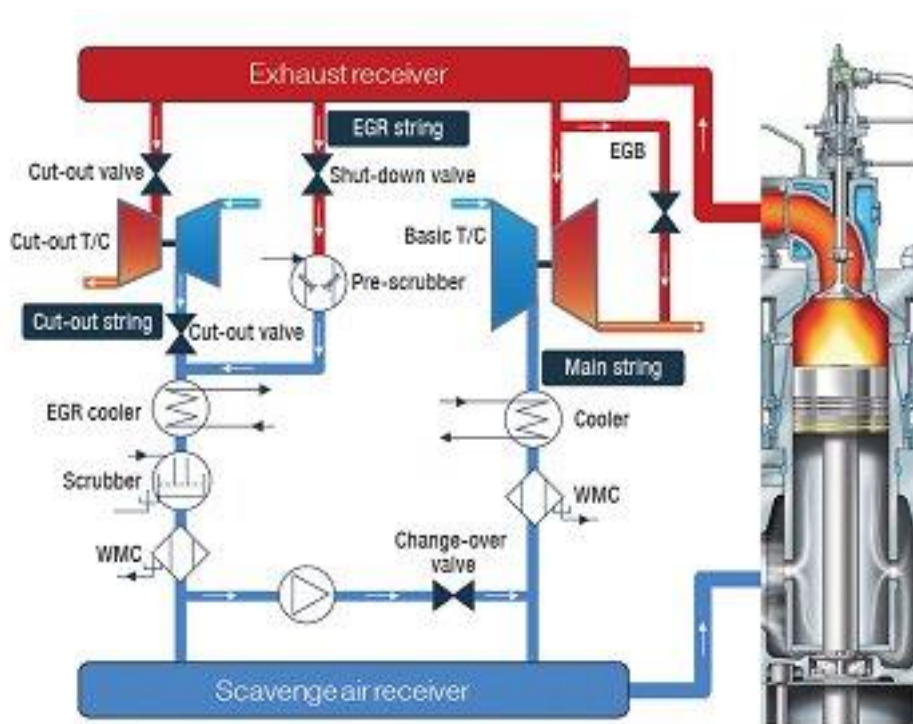


Figura 8. Sistema de recirculación de gases de escape. [Fuente: EGCSA, MAN explains]

Ventajas:

- Se puede utilizar para todos los combustibles
- Ralentiza la velocidad de combustión
- Reduce la temperatura de combustión
- Reducción de NO_x entre un 20-50%

Desventajas:

- La válvula EGR aumenta la producción de partículas
- Disminución del rendimiento del motor
- Aumento de producción de hollín⁶ siendo necesario la aplicación de un filtro de partículas.

2.1.2 INYECCIÓN DE H₂O A LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

El método, Direct Water Injection (DWI), es utilizado mediante la inyección de agua directamente en la cámara de combustión, lo cual produce una reducción de los niveles de óxido de nitrógeno a costa de un pequeño aumento (aproximadamente un 2%) del consumo de combustible.

La inyección de agua comienza antes que la de combustible (ver figura 9) para enfriar el espacio de combustión y para no tener interferencia entre los chorros de combustible y los de agua.

Seguidamente se muestra el gráfico donde se pueden observar las presiones de inyección del cilindro, del combustible y del agua:

- Linea azul: Presión del cilindro.
- Linea Roja: Presión de inyección de agua.
- Linea Verde: Presión de inyección de fuel.

⁶ **Hollín:** Sustancia negra, muy fina y grasienta, que forma el humo y queda adherida a la superficie por donde este sale.

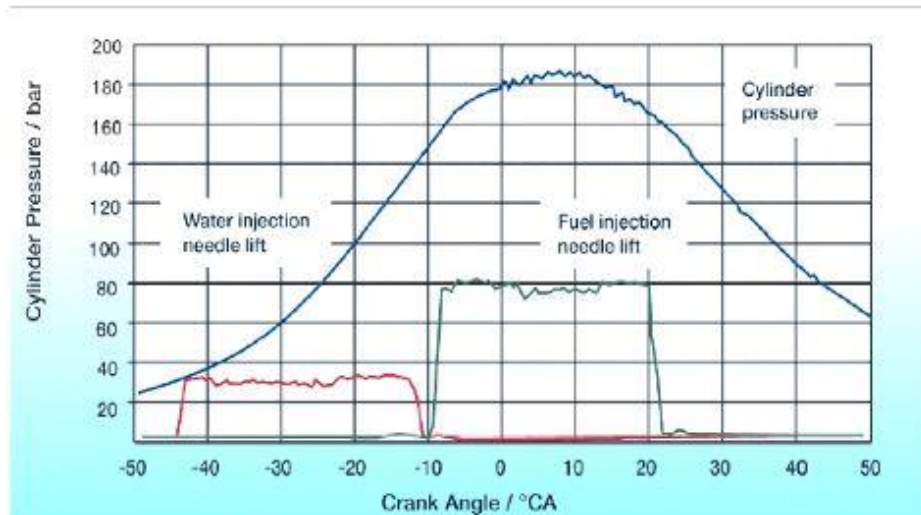


Figura 9. Gráfico de la presión del cilindro y de los inyectores de agua y combustible.[Fuente: Ingeniero marítimo]

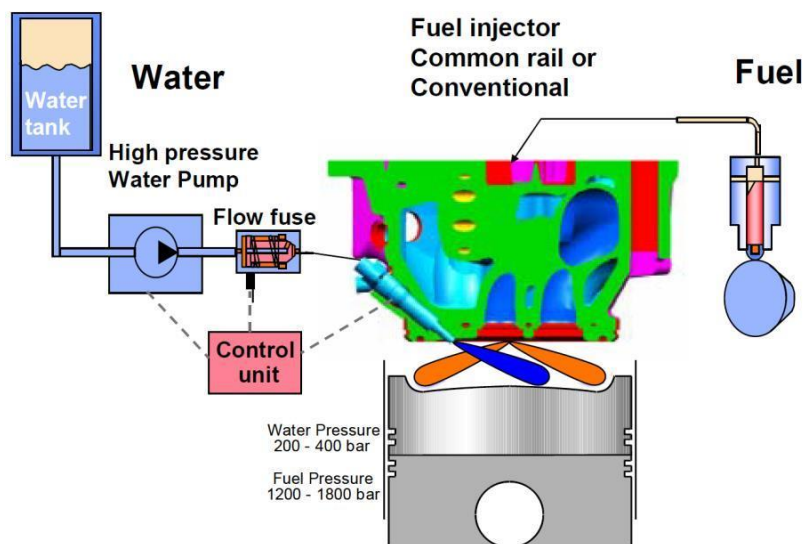


Figura 10. Direct Water Injection (DWI). [Fuente: NOX Reduction technologies for Marine Diesel Engines.Web: <http://docplayer.net>]

Se usa una bomba de agua a alta presión para generar una presión entre 200 y 400 bar. El agua alimenta a los inyectores a través de una válvula reguladora de presión para proporcionar la presión de inyección correcta. El tiempo de inyección de agua está controlada electrónicamente y puede ajustarse fácilmente desde un teclado. La cantidad de agua inyectada, es decir, la relación agua / combustible, se controla por la duración de la inyección. A continuación se observa una comparativa en un simulador CFD (Computation fluid dynamics), realizado por Wärtsilä (8). Se muestra las emisiones de NOx con DWI (a la izquierda) y sin la inyección de agua (en la derecha)

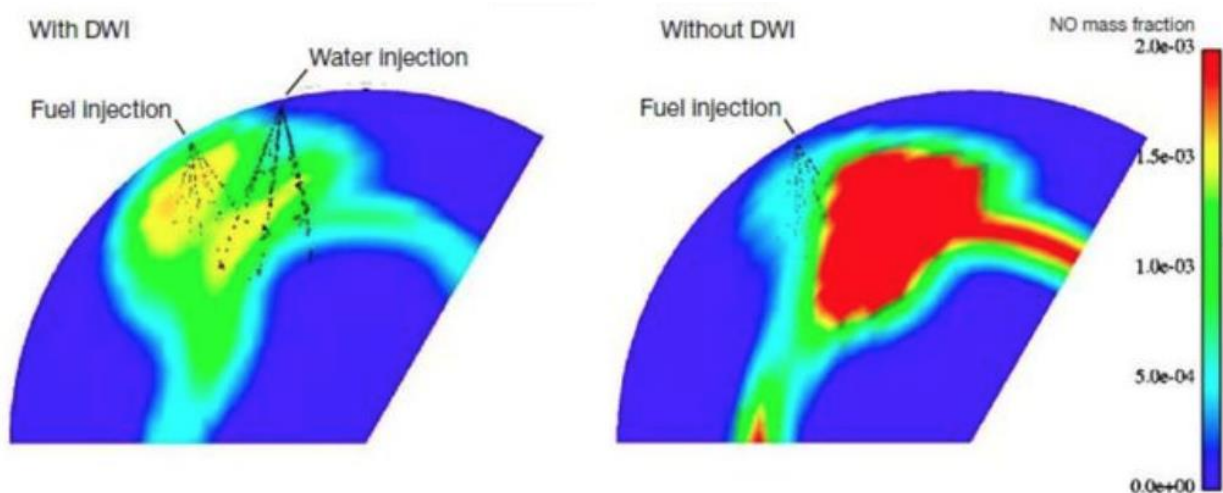


Figura 11. Simulación con CFD, de la circulación de emisiones. [Fuente: NOx Reduction Technologies for Marine Diesel Engines. Web: <http://docplayer.net>]

Ventajas:

- Reducción de NO_x entre un 50-60%
- No ocupa mucho espacio, por lo que se puede montar sobre un motor ya instalado.
- El motor puede funcionar con o sin agua

Desventajas:

- Consume más combustible.

2.1.3 EMULSIÓN DE AGUA EN COMBUSTIBLE

La emulsión de agua en combustible da lugar a un fenómeno llamado micro-explosión, que ocurre cuando las partículas de agua en se vaporizan instantáneamente dentro de la mezcla con el combustible. Se debe a un aumento de la temperatura en el cilindro durante la inyección. Este fenómeno sucede cuando la temperatura de las partículas de combustible aumentan por encima del punto de ebullición del agua, entonces esta se evapora de forma más rápida y violenta .

Desencadenando a una rotura de las gotas de combustible en micro-partículas, que da como resultado una vaporización más completa y favorece la turbulencia del combustible. Gracias a la atomización del combustible, la combustión será más efectiva. **(8)**

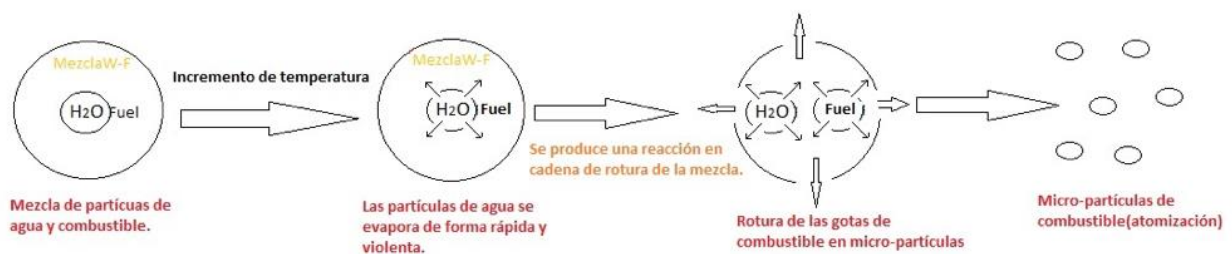


Figura 12. Emulsión de agua en combustible. [Fuente: Ingeniero marino]

Ventajas:

- Reducción de NO_x del 30%
- Aumento de la eficiencia del motor
- Reducción del desgaste del motor
- Impide la acumulación de hollín.

Desventajas:

- Reducción de la eficiencia de la caldera debido al agua añadida en el combustible.

2.1.4 INYECCIÓN DE H₂O EN EL AIRE DE ADMISIÓN

El enfriamiento del aire de admisión es importante a la hora de reducir emisiones de NO_x. Este sistema también llamado Humid Air Motor (HAM), es importante para reducir la temperatura de combustión, el cual enfría los gases de admisión del motor **(9)**.

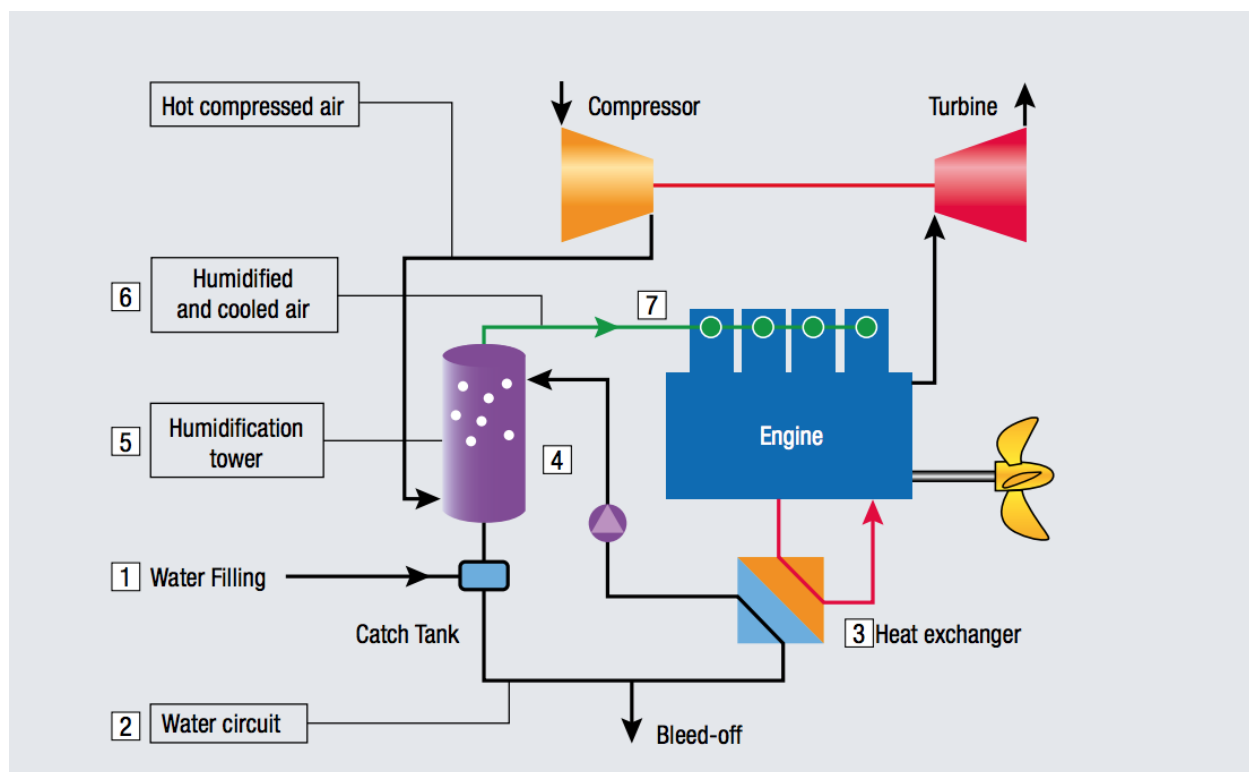


Figura 13. Funcionamiento de un sistema HAM. [Fuente: Humid air motor, technology for green profits. Web: <http://primeserv.mandieselturbo.com/>]

El sistema HAM funciona de la siguiente manera:

- 1.- El agua salada filtrada se bombea al tanque de captura para reemplazar el agua del circuito evaporado y purgado.
- 2.- El agua continúa por el circuito que une el tanque de captura y el humidificador.
- 3.- Un intercambiador de calor calienta el agua mediante el calor residual del motor.
- 4.- Se inyecta el agua pulverizada en el aire de admisión.
- 5.- Al mismo tiempo, el aire comprimido procedente del turbocompresor pasa por el enfriador de aire fluyendo a través del recipiente HAM, el aire absorbe el agua. Todas las partículas que contiene el agua (incluida la sal) caen de nuevo en el tanque. Depende del nivel de salinidad, son purgados, por lo que no entra agua salada en el motor.
- 6.- Para evitar que las partículas pequeñas situadas en la parte superior del humidificador, el aire de admisión pasa a través de un colector antes de entrar en el motor.
- 7.- Esta humidificación produce una saturación del aire de admisión que alimenta el motor.

Ventajas:

- Alta reducción de NO_x.
- Reducción del consumo de combustibles.
- Método ambiental, mediante agua salada.

Desventajas:

- Emisión de hidrocarburos
- Emisión de Hollín

2.2 SOLUCIONES SECUNDARIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO_x

Las reducciones de NO_x en los sistemas primarios no superan el 50-60%, por lo que muchas veces no son las mejores soluciones para reducir el óxido de nitrógeno. Por ese motivo a continuación se muestran las soluciones secundarias, estas consisten en reducir el contenido de NO_x de la sustancia ya creada en la combustión. Siendo posible la mezcla de los dos tipos de soluciones para lograr la reducción de las emisiones que dictan las normativas.

2.2.1 REDUCCIÓN SELECTIVA CATALÍTICA

El proceso SCR, Selective Catalytic Reduction, se basa en la reducción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) con la inyección de amoníaco (NH₃) ,en presencia de exceso de oxígeno (O₂) y un catalizador ,todo esto dentro de un rango de temperatura apropiado dan lugar a la transformación de los NO_x en sustancias inocuas tales como el nitrógeno (N₂) y en vapor de agua (H₂O) **(10)**.

Este proceso de reducción de emisiones es el siguiente:

El gas de escape pasa a través del catalizador, donde el NO_x se convierte en nitrógeno y agua. Se puede lograr más del 95% de reducción de NO_x, es decir, aproximadamente cero emisiones. Con la ventaja de no aumentar el consumo de combustible ni las emisiones de CO₂.

En la figura 14 se observa como es colocado el catalizador dentro del barco y que componentes forman parte de este proceso. Este se instala entre el motor y el embudo (en motores grandes de 2 tiempos, está instalado antes del turbocompresor). El tamaño depende de las dimensiones del motor y de la cantidad de NO_x a reducir, también es adaptable en diseño para que coincida con el diseño de la cámara de máquina y el posicionamiento de las cubiertas. En la figura, se observa que el último elemento que compone el catalizador es el silenciador, este puede ser

reemplazado por silenciadores integrados en el catalizador, es decir, para cumplir con restricciones de espacio depende el tipo de buque a rediseñar.

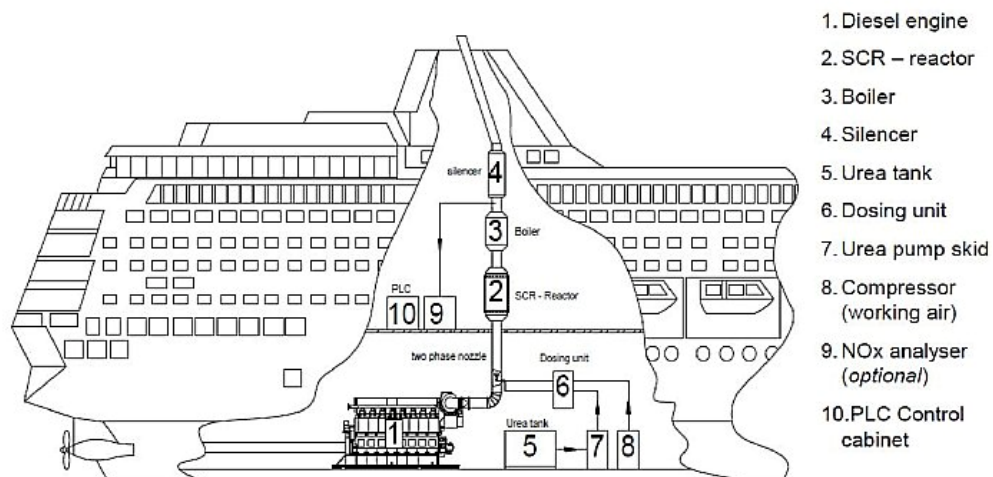


Figura 14. Posición del SCR en un buque. [Fuente: YARA NO_x reduction]

Ventajas:

- Reducción de hasta el 95% de NO_x (aproximadamente un 2 g/kWh).
- Este sistema no afecta al rendimiento del motor
- Ocupa poco espacio
- Control de dosificación, es decir, cuanto más inyección de NH₃, mayor eliminación de NO_x

Desventajas:

- Son caros de instalar y mantener.

2.2.2 REDUCCIÓN SELECTIVA NO CATALÍTICA

El proceso SNCR, Selective non-catalytic reduction, consiste en la inyección de un producto amoniacal (NH_2 , NH_3), en la cadena de tratamiento de humos. El catalizador opera a temperaturas de entre 850-1100 °C. Este rango es muy importante ya que, por encima, el agente reductor puede oxidarse, lo que desencadena en una producción de óxido de nitrógeno adicional. En su contra por debajo de este rango, el agente reductor no puede reaccionar **(11)**.

Ventajas:

- Equipo fácil de instalar
- No requiere mucho espacio
- Reducciones de NO_x de entre 30-50%

Desventajas:

- Eficiencia baja en el proceso de reducción en comparación de SCR
- Requiere un nivel de inyección importante

2.3 SCRUBBER

También llamado sistema de lavado de gases de escape. Este sistema es capaz de absorber SO_x y neutralizar las partículas que contienen los gases de escape. El SO_2 que es absorbido reacciona con el material alcalino líquido, formando SO_4 . Con lo que el azufre que contenía el producto sale del scrubber con los demás residuos y los gases de escape desulfurizados a través de la chimenea del buque. Este tipo de sistema de reducción de SO_x tiene una eficiencia del 90%. En los siguientes puntos se exponen los tipos de scrubbers que hay y su funcionamiento **(12)**.

2.3.1 SCRUBBER TIPO SECO

Este tipo de scrubber no utiliza ningún líquido para llevar a cabo el proceso de depuración de los gases de escape. La eliminación del SO_x mediante el scrubber seco es de hasta el 99%.

La tecnología de depuración en seco utiliza el principio de absorción y adsorción para atrapar los contaminantes del flujo de gases de escape. La tecnología varía según la forma del reactivo alcalino utilizado y los métodos de cómo la emisión gaseosa entra en contacto con el reactivo; también se considera el momento en el que el reactivo y la corriente de gas permanecen en contacto.

El sistema pasa por un proceso de monitoreo para garantizar que toda la emisión esté libre de los principales contaminantes. En la mayoría de los casos, la presencia de filtros de tela y precipitadores electrostáticos⁷ indica el uso de depuradores secos.

Los reactivos se transforman en un líquido espeso o se pueden usar en seco. El reactivo se inyecta o se rocía posteriormente en el recipiente que lo absorbe donde se espera que esté en contacto con el gas de escape. En forma líquida, el reactivo se atomiza para que se logre un mayor contacto y se maximice la absorción. El reactivo inyectado se hace fluir dentro del recipiente de adsorción para mejorar la mezcla del reactivo con el gas de combustión; el uso de Venturi o constricción es aumentar el contacto y la velocidad. Los filtros realizan una limpieza

⁷ Los **precipitadores electrostáticos** son equipos que presentan una elevada eficiencia de captación (cercana al 99%) para todo el espectro de tamaño de partículas de material particulado.

adicional del gas para eliminar las partículas suspendidas. Al final, los subproductos sólidos de los contaminantes se recolectan en la base de los recipientes y luego se eliminan.

En este tipo de sistemas, el consumo de energía es insignificante. Por otro lado permite la eliminación tanto de SO_x como de NO_x debido a que no hay una disminución significativa de la temperatura en los gases de escape. Al ser scrubber seco, no se transmiten contaminantes al mar durante su uso, a demás el material utilizado para la reacción es de forma granulada lo que lo hace ser más fácil de reciclar y también de manejo.

2.3.2 SCRUBBER TIPO HÚMEDO

La mayoría de scrubbers húmedos se componen de estas tres partes fundamentales:

1. La unidad de limpieza del gas de escape: esta se usa como una cámara de contacto que permite que el gas de escape de un motor o caldera se mezcle con agua, ya sea agua de mar, agua dulce, o ambas. Debido a limitaciones de acceso y espacio las unidades de limpieza tienden a estar en lo alto de la nave, dentro o alrededor del área del embudo.
2. Tratamiento con agua de lavado: para lograr eliminar los contaminantes solubles en agua, como el dióxido de azufre y el trióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno. Estos forman sulfatos y nitratos que se disuelven en el agua de lavado después del proceso de lavado. El depurador de agua de lavado contiene sólidos suspendidos, metales pesados, hidrocarburos y

hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)⁸. Antes de descargar el agua de lavado, esta debe tratarse para eliminar los sólidos. El proceso de tratamiento generalmente incluye un separador ciclónico similar al utilizado para separar el agua de combustible residual antes de la entrega al motor. Las partículas más pesadas también pueden quedar atrapadas en un tanque de decantación o lodo para su eliminación.

3. Tanque de lodos: es usado para para retener los lodos eliminados por el proceso de tratamiento de agua de lavado.

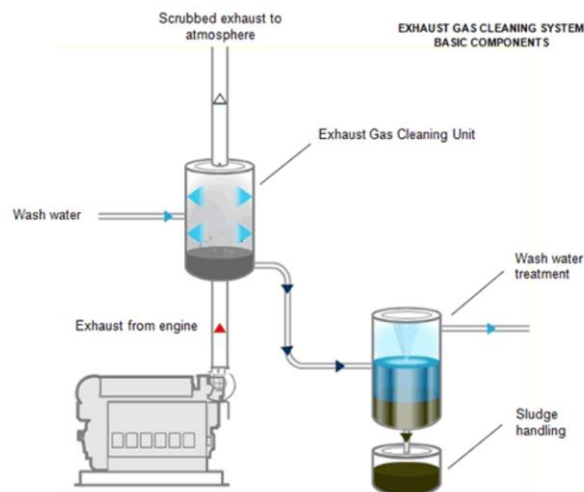


Figura 15. Principales componentes de un scrubber húmedo. [Fuente: EGCSA]

⁸ **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP):** son la representación de un gran conjunto de compuestos que surgen como productos secundarios durante los procesos de combustión. Químicamente son los sólidos cristalinos de color blanco-amarillento, cuya solubilidad en agua es prácticamente nula, aunque se disuelven bien en grasas y petróleos.

2.3.2.1 ABIERTO

El scrubber húmedo está diseñado para eliminar el SO_x del escape y funciona utilizando agua de mar. El sistema de depuración de bucle abierto es el método de depuración más directo. Utiliza la alcalinidad natural en agua de mar para fregar, y no necesita soda cáustica. Este método se puede usar en la mayoría de los mares en todo el mundo, donde los niveles de alcalinidad son altos, como por ejemplo en el mar muerto.

El gas de escape entra al depurador y se rocía con agua de mar, el SO_x del escape reacciona con el agua y forma ácido sulfúrico. Los productos químicos no son necesarios ya que la alcalinidad natural del agua de mar neutraliza el ácido. El agua de lavado del depurador se trata y supervisa para garantizar que cumpla con la normativa y pueda descargarse al mar sin riesgo de dañar el medio ambiente.

Este tipo de sistemas de limpieza de gases de escape están basados en el principio de funcionamiento de los sistemas de torres de gas inerte. Consiste en enfriar el gas y eliminar el agua mediante un elemento secador. Los scrubbers húmedos de tipo abierto utilizan el agua del mar para eliminar el SO_x de los gases de escape.

Componentes :

- Tomas de agua de mar
- Bombas de agua para el scrubber
- Unidad scrubber
- Conducto de salida de los gases de escape
- Componente Venturi: entrada de los gases de escape al scrubber..
- Tanque almacén
- Bomba de agua de lavado

- Unidad separadora de lodos
- Tanque de lodos del scrubber
- Bomba de agua tratada: para proceder a la descarga al mar (después de comprobar que cumple la normativa)

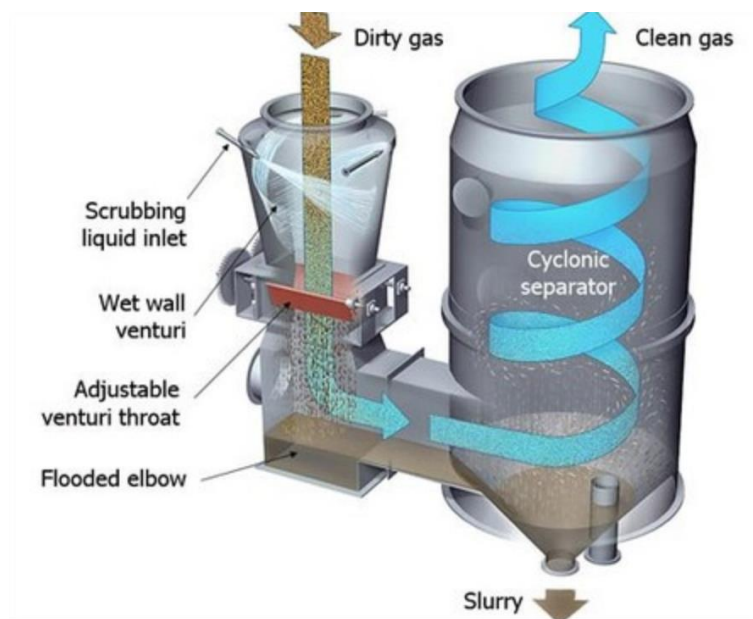


Figura 16. Componente Venturi de Scrubber. [Fuente: DUSTEX clean air technologies]

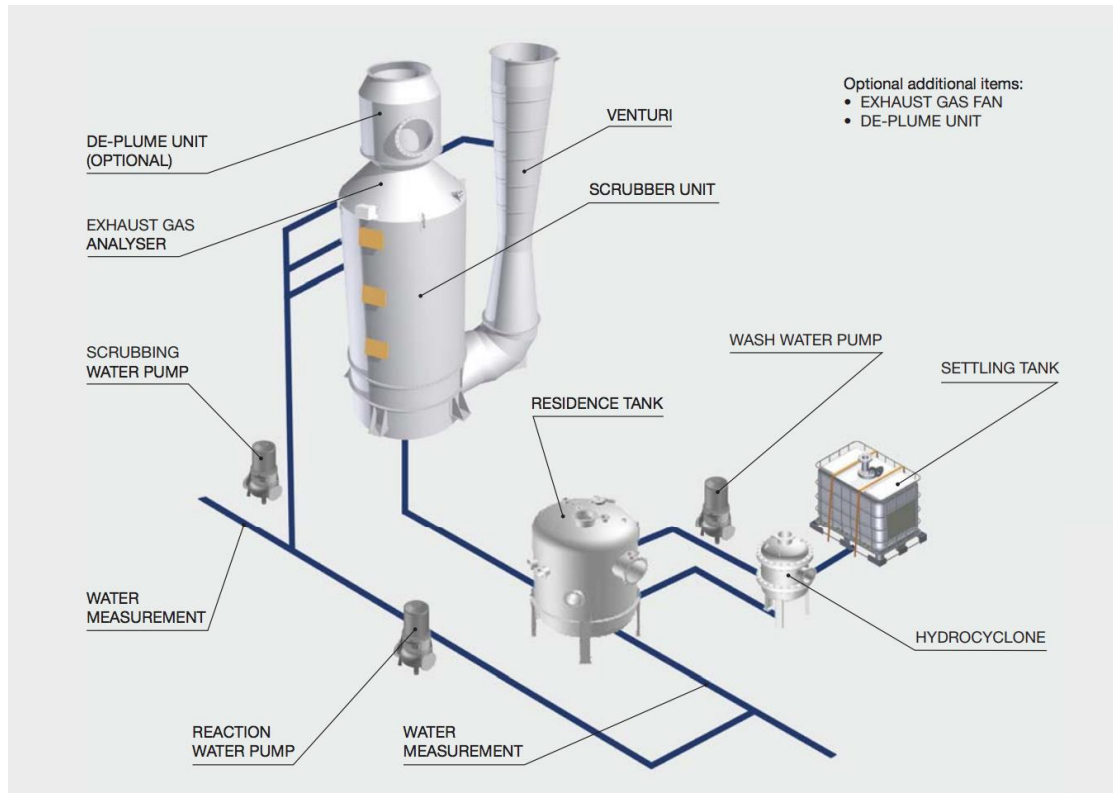
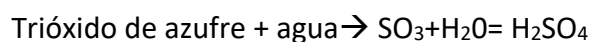
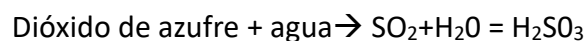


Figura 17. Esquema del funcionamiento de un scrubber húmedo abierto. [Fuente: DUSTEX clean air technologies.]

Descripción de la figura 17:

Los gases entran al sistema por la parte inferior de la torre del scrubber y son pulverizadas con agua de mar en dos etapas. Los óxidos de azufre, reaccionan con el agua y forman ácido sulfúrico.



El agua de lavado del scrubber es tratada y monitorizada en la entrada y en la salida para asegurar el cumplimiento de la normativa MEPC.184 (59), ver ANEXO I: GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS , y evitar provocar daños en el ambiente marino.

2.3.2.2 CERRADO

El depurador de circuito cerrado, no es necesario preocuparse por los niveles de alcalinidad del agua del mar. Este sistema es el más adecuado para la operación a tiempo completo en áreas de baja alcalinidad.

En un depurador de sistema cerrado el gas de escape entra en depurador y se rocía con el mar agua que ha sido mezclada con soda cáustica (NaOH). El azufre los óxidos en el escape reaccionan con esta mezcla y son neutralizados. Una pequeña cantidad de agua del lavado se purga y se extrae de la circuito cerrado . Los efluentes limpios puede descargarse de forma segura por la borda sin dañar el medio ambiente Si operación en modo de descarga cero es solicitado, el efluente puede ser llevado a un tanque de retención para programar y descarga periódica.

Componentes:

- Toma de agua de mar
- Bomba de agua salada: es la que coge agua del mar y alimenta el intercambiador de calor
- Intercambiador de calor
- Tanque almacén y modulo de alimentación del reactivo alcalino: alimenta y destituye el reactivo en el scrubber para realizar la mezcla.
- Unidad de tratamiento de agua de scrubber.
- Calentador de los gases de escape: no es un componente indispensable pero se usa para optimizar el funcionamiento del scrubber.

- Bombas de agua del scrubber
- Unidad scrubber

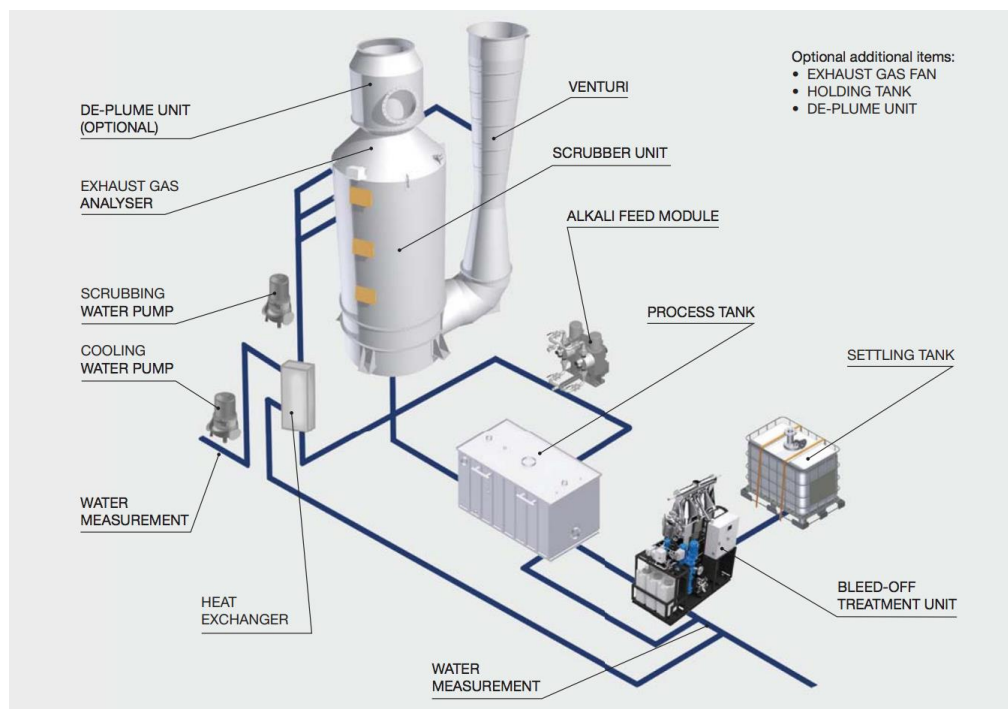


Figura 18.Esquema del funcionamiento de un scrubber húmedo tipo cerrado. [Fuente: DUSTEX clean air technologies]

Descripción de la figura 18:

En el scrubber húmedo tipo cerrado se pueden distinguir dos circuitos que trabajan de forma continua circulando en paralelo.

Por un lado, el circuito de circulación de agua del scrubber el cual conduce el agua des de las bombas alimentando directamente la primera fase del scrubber. Al mismo tiempo, otro circuito de circulación de agua es dirigido hasta el intercambiador de calor con agua del mar.

El intercambiador de calor es alimentado por la bomba de agua de mar des de la toma de mar con el fin de enfriar el agua que llega a la segunda unidad del scrubber. Seguidamente la soda cáustica se mezcla con el agua del scrubber de la primera etapa a través del modulo de alimentación alcalino.

En el interior de a unidad scrubber se encuentra el agua pulverizada en dos etapas. Los gases de SO_x entran a la unidad por la parte inferior de la torre. Mediante un sistema de monitoreo y dependiendo de las emisiones de los gases, si estas son inferiores a las permitidas los gases no pasan por un sistema de limpieza scrubber, por lo contrario, se recirculan para eliminar los gases contaminantes.

El agua de recirculación que ha estado limpiada se descarga al mar directamente , dependiendo las reglas marcadas por la OMI, ver ANEXO I: GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS. En el sentido opuesto los lodos son depositados al tanque de lodos del buque.

2.3.2 SCRUBBER HÍBRIDO

Los sistemas de depuradores híbridos generalmente son una combinación de los sistemas de húmedo de circuito abierto y cerrado. Estos ofrecen la flexibilidad de operar en uno de los dos modos, dependiendo de la alcalinidad de el agua del mar por la que el barco esté circulando.

Los sistemas de depuración de circuito cerrado generalmente usan agua marina o agua químicamente controlada como líquido de lavado. A diferencia de los sistemas de depuración de circuito abierto, que bombean agua directamente a través del depurador y si esta cumple con la normativa se descarga al mar. En cambio los sistemas de circuito cerrado recirculan el líquido de depuración, y solo una pequeña parte de ellos es devuelto al mar .Una vez que pasa a través del gas de escape, el agua de lavado generalmente se mantiene en un tanque de proceso, se trata y luego se recircula.

En comparación con los otros dos sistemas, el híbrido es intuitivamente el más complejo de los tres y requiere una cantidad sustancial de componentes instalados a bordo. Para facilitar el modo de utilización tipo abierto, el sistema requiere un importante sistema de suministro de agua de lavado que prevalece en los modelos de circuito abierto independientes. De manera similar, para garantizar que el sistema también pueda operar en modo de circuito cerrado, también es necesario todo el sistema de tratamiento de agua de lavado (que requiere varios tanques de almacenamiento así como también equipos adicionales de tratamiento de agua).

Como contra el sistema de lavado de gases de escape híbrido es complejo, requiere de mucho espacio y de una planificación y atención aún más cuidadosa que los otros dos.

En la figura 19 se muestra el esquema del scrubber tipo híbrido y los componentes que lo forman.

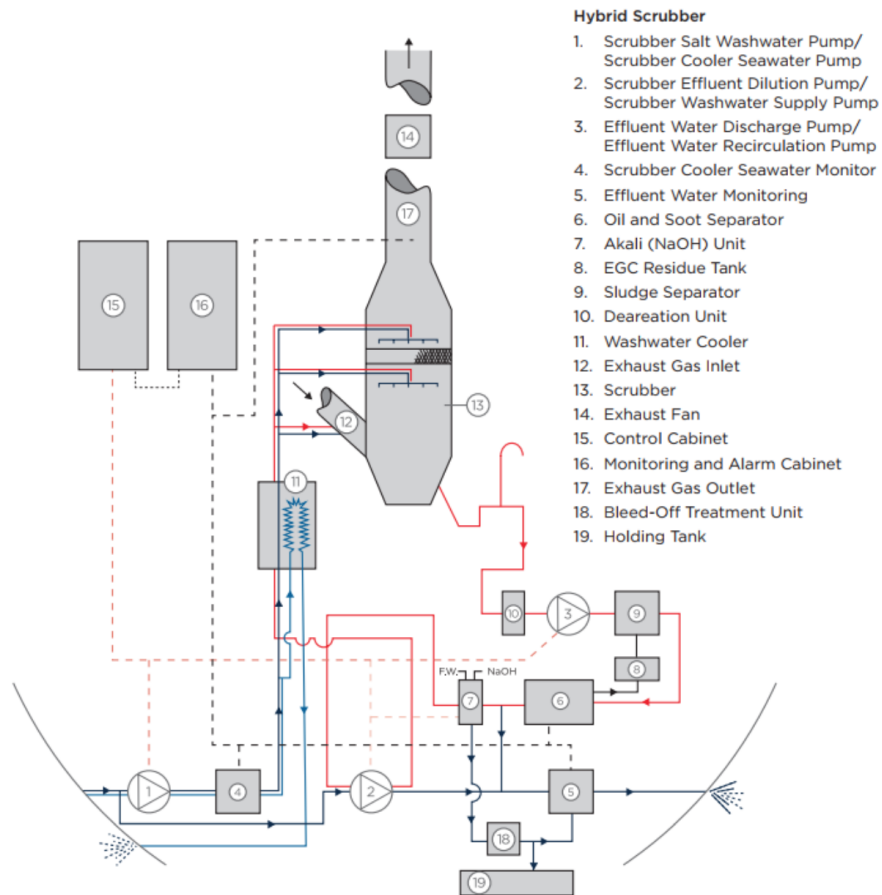


Figura 19. Esquema y componentes de un scrubber tipo híbrido.[Fuente: Hybrid scrubbers. Web: www.cleanshipsolutions.com] (13)

CAPÍTULO 3. REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE SO_x Y NO_x EN UN BUQUE PORTACONTENEDORES

3.1 ESPECIFICACIONES DEL BUQUE TIPO

El buque tipo elegido para hacer el estudio y el rediseño de la cámara de máquinas es un portacontenedores construido el 2006 el cual actualmente cubre una ruta por el mediterráneo. La naviera pretende incorporar rutas nuevas en las cuales hay puertos en zonas ECAs por lo que se estudiará reducir las emisiones para permitir la circulación por dichas rutas.

Por otro lado se rediseña el buque también con vistas al futuro ya que el mediterráneo será una posible zona ECA. Cuando esto suceda se restablecerá un marco de igualdad en el mercado único europeo, donde los operadores de barcos y puertos del sur tendrán que hacer frente a los mismos requisitos reglamentarios que en el norte de Europa. Esto también alentará la adopción de tecnologías de baja emisión y la transferencia de los conocimientos necesarios dentro de la Unión Europea, lo cual mejoraría el liderazgo en tecnología y la creación de puestos de trabajo en el sector marítimo.



Figura 20. Buque portacontenedores. [Fuente: Marine traffic. Web. <https://www.marinetraffic.com/>]

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

Especificaciones básicas	
Eslora	215,29 m
Manga	29,80 m
Calado	8,9 m
Arqueo bruto	27915 T
DWT	38133 T
Desplazamiento	49131 T

Tabla 7: Especificaciones básicas

- La velocidad del buque son los 21,75 kn al 90% MCR (plena carga del motor)
- El consumo del buque es de 88,00 T/dia (al 90% MCR)
- Capacidad de carga del buque: 2.702 TEU.
- Potencia del motor: 21.770 MW a 108 rpm

El motor principal es un MAN B&W 7L70MC. Seguidamente en la figura 21 se muestra una foto del motor en la cámara de máquinas del buque tipo en el cual se observa la parte superior del motor donde se ven claramente los siete cilindros que lo componen.



Figura 21. Motor principal del buque tipo.[Fuente: propia]

- La capacidad de combustible en los tanques del buque es la siguiente:
- Heavy fuel oil (HFO): 2874,7 m³ /Tanque (al 100%) → se distinguen trece tanques.
- Diesel oil : 303,5 m³ /tanque(al 100%) → se distinguen dos tanques

2.3.2 RUTA DEL BUQUE TIPO

La ruta realizada por el buque portacontenedores a día de hoy es :

Barcelona (España)→Alexandria (Egipto)→Mersin (Turquía)→Iskenderun (Turquía)→Latakia (Siria) →Beirut (Libano)

Puerto de salida	Puerto de llegada	Distancia (MN)	Duración de operaciones a puerto (aprox.)
Barcelona(ES)	Alexandria(EG)	1472	8h
Alexandria(EG)	Mersin(TR)	428	8h
Mersin(TR)	Iskenderun(TR)	91	8h
Iskenderun(TR)	Latakia(SY)	100	8h
Latakia(SY)	Beirut(LB)	60	8h

Tabla 8: Ruta Barcelona-Beirut (datos de la ruta).[Fuente: propia]

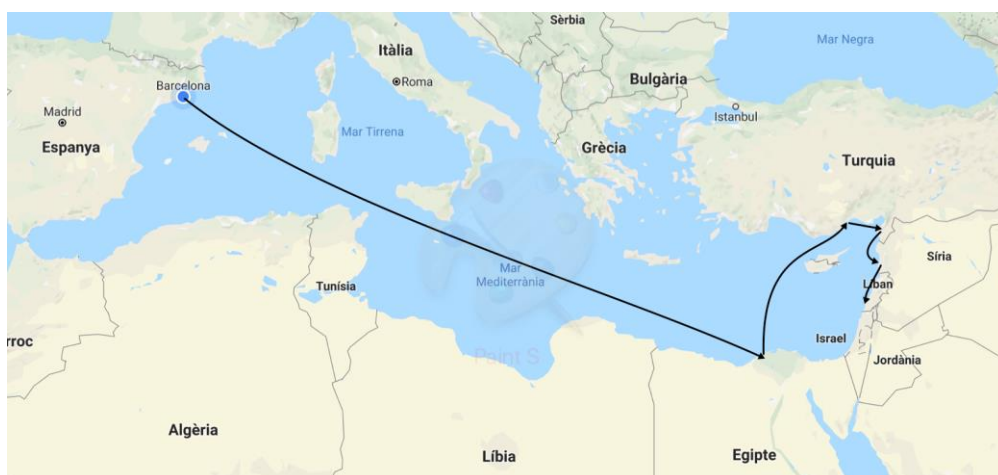


Figura 22. Ruta Barcelona-Beirut. [Fuente: propia]

La naviera propietaria del buque actualmente solo opera por el mar Mediterráneo por la cual cosa queda excluida por el momento de la normativa que han de cumplir los buques que circulan por zonas ECAs.

Adelantándose a que el mar mediterráneo acabará siendo zona de reducción de emisiones en un futuro y que la naviera está en expansión y están cerrando cargas importantes en el norte de Europa, el buque tipo tendrá que cubrir la ruta entre el puerto de Barcelona (España) con destino final el puerto de Bremerhaven (Alemania) Esta ruta tendrá recorridos donde el buque tendrá que acatar la normativa de reducción de emisiones ya que circulará por zonas ECA.

Futura ruta de la naviera:

Barcelona (España)→Algeciras (España)→Leixoes (Portugal)→ Southampton (Inglaterra)
→Rotterdam (Países Bajos) → Bremerhaven (Alemania)

Puerto de salida	Puerto de llegada	Distancia (MN)	Distancia en zonas ECAS (MN)	Duración de operaciones a puerto (aprox.)
Barcelona(ES)	Algeciras (ES)	527		8h
Algeciras (ES)	Leixoes (PT)	474		8h
Leixoes (PT)	Southampton (GB)	537	188	8h
Southampton (GB)	Rotterdam(NL)		259	8h
Rotterdam (NL)	Bremerhaven (DE)		245	8h

Tabla 9: Ruta Barcelona-Bremerhaven (datos de la ruta). [Fuente: propia]

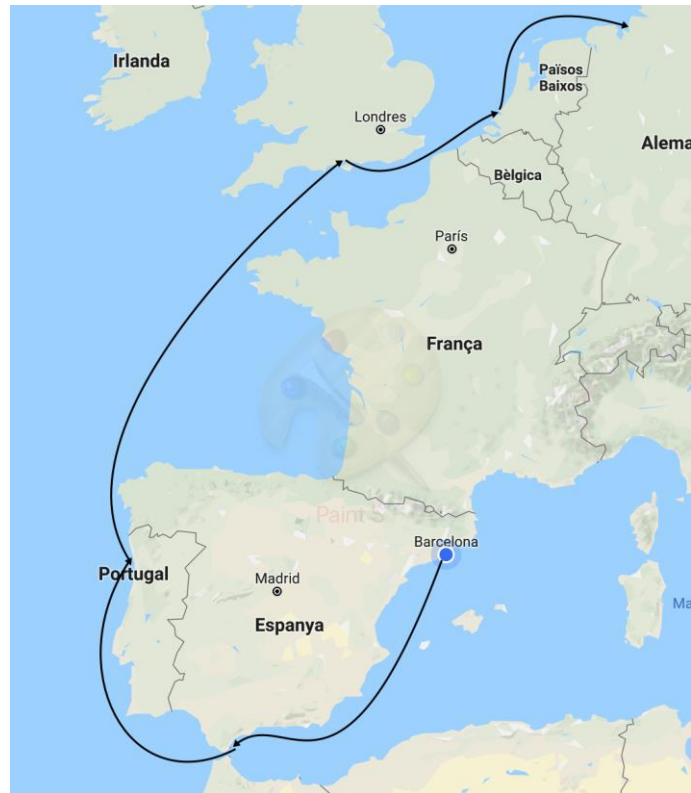


Figura 23. Ruta Barcelona-Bremerhaven.[Fuente: propia]



Figura 24. Límite zona SECA del norte de Europa. [Fuente: DSV, Global transport and logistics]

2.3.1 COMBUSTIBLE

El fuelóleo pesado es un combustible residual en el que se produce durante la destilación del petróleo crudo. La calidad del combustible residual depende de la calidad del crudo utilizado en la refinería. Para lograr varias especificaciones y niveles de calidad, estos combustibles residuales se mezclan con combustibles más livianos, como el gasoil marino o el diésel marino. Las mezclas resultantes también se conocen como aceites combustibles intermedios (IFO) o aceite diésel marino. Se clasifican y nombran de acuerdo con su viscosidad. En el caso del buque tipo, este consume IFO 380, con una viscosidad de 380 mm² / s. Un diferenciador clave de los fueloils pesados es su contenido de azufre. Según la norma ISO 8217, su contenido máximo de azufre no debe superar el 3,5%.

-Combustible con alto contenido de azufre (HSFO) → máximo 3,5% de azufre

Petróleo uso marino IFO - 380

PETRÓLEO COMBUSTIBLE IFO - 380			
Propiedad	Requisito	Unidad	Método Análisis
	NCh 2286 Of. 1997		ASTM
Gravedad API A 60° F	Informar	*API	D 1298
Densidad a 15 °C	máx. 991,0	kg/m ³	D 1298
Agua	máx. 0,5	% (v/v)	D 95
Alumino + Silicio	máx. 80	ppm	D 5184 o ISO 10478
Azufre	máx. 3,5	% (m/m)	D 4294 o D 2622
Carbón Ramsbottom	máx. 18	% (m/m)	D 524
Cenizas	máx. 0,15	% (m/m)	D 482
Punto de Escurrimiento	máx. 30	°C	D 97 o D 5950
Punto de Inflamación	mín. 60	°C	D 93 o D 3828
Sedimento Total Potencial	máx. 0,10	% (m/m)	D 4870
Vanadio	máx. 300	ppm	D 5863 o ISO 14597
Viscosidad a 50 °C	máx. 380	mm ² /s	D 445

Figura 25. Especificaciones IFO-380. [Fuente: ENAP.Web: www.enap.cl]

En la figura 25 se observa el contenido máximo del 3,5% de azufre en el combustible IFO 380 marino.

A continuación se estimarán los precios del combustible según la web SHIP & BUNKER (14), el precio del combustible varía constantemente, por lo que el rango de los precios será orientativo. A continuación se muestran los precios del IFO 380 y del ULSFO consultados entre el 18/04/2018 y el 21/06/2018.

El precio indicado es en: \$/T

Precio medio IFO 380: 410 \$/T

Apr 18, '18 - Jun 21, '18	High	Low
Rotterdam - IFO380	\$443.00	\$377.00
Global 20 Ports Average - IFO380	\$465.50	\$401.00

Figura 26 . Precio estimado del IFO 380.[Fuente: Ship & bunker]

También existe un combustible el cual se denomina fueloil ultra bajo en azufre (ULSFO), el que tiene un máximo de 0,1% de azufre. Este combustible marino cumple con la normativa de las emisiones de SO_x, pero su precio es muy alto, ya que el crudo necesita una gran destilación para conseguir reducir al máximo las impurezas.

El precio indicado es en: \$/T

Precio medio ULSFO: 620 \$/T

Apr 23, '18 - Jun 21, '18	High	Low
Rotterdam - ULSFO	\$657.00	\$581.50

Figura 27. Precio estimado del ULSFO. [Fuente: Ship & bunker]

3.1 ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE SOX Y NOX

Para empezar se realizará el estudio de emisiones sin métodos de reducción de SO_x y NO_x. El buque tipo según especificaciones técnicas puede desarrollar una velocidad de 21, 75 Kn (11,19 m/s) al 90 % de la potencia máxima continua que el motor del buque puede proporcionar. Puesto que no tenemos en cuenta la salida y entrada a puerto y las operaciones de maniobra, se han establecido dos velocidades para comparar el consumo de combustible y las emisiones del buque a la atmósfera. Las velocidades de estudio serán de 16kn y 18kn respectivamente. El combustible del buque que usa la naviera es el IFO 380 con un contenido de un 3 % de azufre.

También como se ha comentado en el apartado 2.3.2 se estudiará el consumo en dos rutas distintas. Una de ellas, Barcelona-Beirut, la cual está previsto que sea futura zona ECA y la otra, Barcelona-Bremerhaven , la cual es una de las próximas rutas que abrirá mercado entre el mediterráneo y una capital Alemana, su recorrido pasa por zona ECA en tres de sus puertos norte europeos.

Para finalizar este punto se hará la comparativa del estudio de emisiones teniendo el cuenta los datos técnicos del buque con un factor de consumo proporcionado por la agencia Europea medioambiental, EEA.

Fuel	Bunker Fuel Oil				
Not applicable	Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl, Mirex,				
Not estimated	NH ₃ , Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Total 4 PAHs				
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	79.3	kg/tonne fuel	0	0	Entec (2007). See also note (2)
CO	7.4	kg/tonne fuel	0	0	Lloyd's Register (1995)
NM VOC	2.7	kg/tonne fuel	0	0	Entec (2007). See also note (2)
SO _x	20	kg/tonne fuel	0	0	Note value of 20 should read
TSP	6.2	kg/tonne fuel	0	0	Entec (2007)

Figura 28. Tabla de factores de emisiones. [Fuente: European Environment Agency. Web: <https://www.eea.europa.eu/>] (15)

2.3.1 RUTA BARCELONA- BEIRUT

Emisiones de SO_x a 16 kn:

A una velocidad de 16 kn (8,2304 m/s) según especificaciones técnicas el consumo es de 64,73 toneladas de combustible al día. Seguidamente se adjunta la tabla donde especifica el tiempo que tarda en hacer toda la ruta.

Emisión de azufre al día (según IFO 380 3%S) = 1,9419 T de S → 3,8838 T de SO₂

Puerto de salida	Puerto de llegada	Distancia (MN)	Días de navegación
Barcelona(ES)	Alexandria(EG)	1472	4,166997869
Alexandria(EG)	Mersin(TR)	428	1,448012967
Mersin(TR)	Iskenderun(TR)	91	0,570332975
Iskenderun(TR)	Latakia(SY)	100	0,5937725

Latakia(SY)	Beirut(LB)	60	0,489596833
Tiempo total (aproximado) de navegación			7,268713145
Emisiones de S durante toda la ruta =14,11511406 T de S			
Emisiones de SO ₂ durante toda la ruta = 28,23022811 T de SO ₂			

Tabla 10 : Emisiones de SO_x del buque tipo a una velocidad de 16 kn.[Fuente: Propia]

Emisiones de SO_x a 18 kn:

Puerto de salida	Puerto de llegada	Distancia (MN)	Días de navegación
Barcelona(ES)	Alexandria(EG)	1472	3,741035143
Alexandria(EG)	Mersin(TR)	428	1,324159675
Mersin(TR)	Iskenderun(TR)	91	0,543999682
Iskenderun(TR)	Latakia(SY)	100	0,564834815
Latakia(SY)	Beirut(LB)	60	0,472234222
Tiempo total (aproximado) de navegación			6,646263536
Emisiones de S durante toda la ruta = 12,90637916 T de S			
Emisiones de SO ₂ durante toda la ruta = 25,81275832 T de SO ₂			

Tabla 11 : Emisiones de SO_x del buque tipo a una velocidad de 18 kn.[Fuente: Propia]

Según la figura 28, las emisiones de NO_x son de 73,9 kg /T fuel al día. A continuación se adjunta las el cálculo de NO_x que se producirán en esta ruta según los el factor de emisiones proporcionado por la Agencia Europea de medioambiente.

-Factor de emisión de NO_x → 79,3Kg/ T fuel oil

-Consumo → 64,73 T combustible/día

-Emisiones de NO_x al día → 5133,089 kg NO_x / día

5,133089 T NO_x / día

Ruta Barcelona-Beirut			
Emisiones de la ruta total		34,11586225	T de NOX
BCN	Alexandria	19,20306634	T de NOX
Alexandria	Mersin	6,79702946	T de NOX
Mersin	Iskenderun	2,792398782	T de NOX
Iskenderun	Latakia	2,899347375	T de NOX
Latakia	Beirut	2,424020292	T de NOX

Tabla 12: Emisiones de NO_x en la ruta Barcelona-Beirut.[Fuente: propia]

2.3.1 RUTA BARCELONA- BREMERHAVEN

Emisiones de SO_x a 16 kn:

Puerto de salida	Puerto de llegada	Distancia (MN)	Distancia en zonas ECAS (MN)	Días de navegación
Barcelona(ES)	Algeciras (ES)	527		1,705847742
Algeciras (ES)	Leixoes (PT)	474		1,567814984
Leixoes (PT)	Southampton (GB)	537	188	2,221517293
Southampton (GB)	Rotterdam(NL)		259	1,007870775
Rotterdam (NL)	Bremerhaven (DE)		245	0,971409292
Tiempo total (aproximado) de navegación				7,474460087
Emisiones de S en zona ECA= 8,157528394 T de S				
Emisiones de SO ₂ en zona ECA= 16,31505679 T de SO ₂				
Emisiones de S durante toda la ruta = 14,51465404 T de S				
Emisiones de SO ₂ durante toda la ruta = 29,0293080 T de SO ₂				

Tabla 13: Emisiones de SO_x del buque tipo a una velocidad de 16 kn.[Fuente: Propia]

Emisiones de SO_x a 18 kn:

Puerto de salida	Puerto de llegada	Distancia (MN)	Distancia en zonas ECAS (MN)	Días de navegación
Barcelona(ES)	Algeciras (ES)	527		1,553346141
Algeciras (ES)	Leixoes (PT)	474		1,430650356
Leixoes (PT)	Southampton (GB)	537	188	2,011719075
Southampton (GB)	Rotterdam(NL)		259	0,932922171
Rotterdam (NL)	Bremerhaven (DE)		245	0,900511963
Tiempo total (aproximado) de navegación				6,829149707
Emisiones de S en zona ECA= 7,466903017 T de S				
Emisiones de SO ₂ en zona ECA= 14,93380603 T de SO ₂				
Emisiones de S durante toda la ruta = 13,26152582 T de S				
Emisiones de SO ₂ durante toda la ruta = 26,52305163 T de SO ₂				

Tabla 14: Emisiones de SO_x del buque tipo a una velocidad de 18 kn.[Fuente: Propia]

Cálculo de emisiones de NO_x :

-Factor de emisión de NO_x → 79,3Kg/ T fuel oil

-Consumo → 64,73 T combustible/día

-Emisiones de NO_x al día → 5133,089 kg NO_x / día

5,133089 T NO_x / día

Ruta Barcelona-Bremerhaven			
Emisiones de la ruta total		35,0546332	T de NOX
BCN	Algeciras	7,97346399	T de NOX
Algeciras	Leixoes	7,34365561	T de NOX
Leixoes	Southampton	10,3263331	T de NOX
Southampton	Rotterdam	4,78877253	T de NOX
Rotterdam	Bremerhaven	4,62240805	T de NOX

Tabla 15: Emisiones de NO_x en la ruta Barcelona-Bremerhaven.[Fuente: propia]

Comparativa de la emisiones de SO_x calculadas por las especificaciones técnicas del buque de carga y por el factor de emisiones dado por la agencia europea de medioambiente:

Emisiones de SO_x:

-Según especificaciones del buque el 3,8838 T de SO₂ al día.

-Según factor de emisiones: 2,5892 T de SO₂ al día.

Dado que se dispone de las especificaciones técnicas dadas por la naviera propietaria del buque y viendo la gran diferencia que hay entre el factor de emisiones (que es un valor estimado) se procederá a seguir los cálculos del rediseño con las emisiones dadas por la ficha técnica del buque tipo. No se podrá hacer lo mismo con las emisiones de NO_x ya que no podemos calcularlas con los datos facilitados y se han estimado con los factores de emisión.

3.2 REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE SO_x Y NO_x

Después de analizar los sistemas de reducción de SO_x y estudiar las emisiones de este contaminante se procederá a la aplicación de un Scrubber en la cámara de máquinas. Actualmente este buque usa el combustible IFO 380 (contiene 3% de azufre), por lo que no puede circular por zonas ECAs donde el contenido en azufre máximo permitido es de 0,1%. Se instalará un sistema de Scrubber húmedo tipo cerrado ya que no ocupa tanto espacio como el Scrubber híbrido y tampoco se tiene que depender de los niveles de alcalinidad del agua del mar como en el Scrubber húmedo tipo abierto.

El Scrubber instalado en el buque tipo es el Alfa Laval SO_x del fabricante MAN **(16)**. Este se observa en la figura 29.

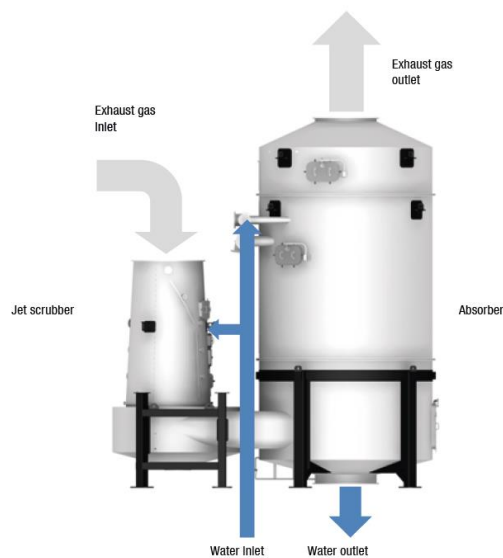


Figura 29. Scrubber Alfa Laval (MAN).[Fuente:Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu]

Las dimensiones del scrubber Alfa Laval se rigen en función de la potencia del Motor MAN B&W:

Engine power MW	Width m	Length m	Height m	Weight ton (dry)	Weight ton (wet)	Water Inlet DN	Water outlet DN
– 4	2.3	4.0	7.0	6	8	200	250
4 – 8	2.8	4.9	7.8	7	11	250	250
8 – 12	3.5	6.3	9.1	12	18	350	400
12 – 16	4.2	7.4	10.2	18	25	400	450
16 – 20	4.8	8.4	11.2	21	31	450	500
20 – 24	5.5	9.2	12.0	27	39	500	600
24 – 32	6.0	10.5	13.2	35	51	600	600

Tabla 16. Dimensiones del scrubber según el fabricante. [Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu]

Durante el funcionamiento del Scrubber cerrado es necesario purgar el agua del depurador para evitar la acumulación de sal generada en el proceso. Antes de descargar el agua en el mar, debe limpiarse en una unidad de limpieza de agua (WCU).

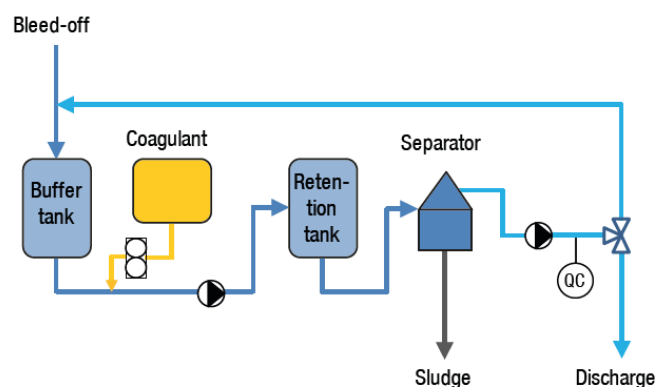


Figura 30. Esquema del funcionamiento de la unidad de limpieza de agua (WCU). [Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].

Como se observa en el esquema de la figura 31 el agua de purga del sistema se recoge en un tanque de almacenamiento intermedio. Después de la adición de un coagulante, la purga se lleva a un tanque de retención y se envía al separador de alta velocidad para el proceso de limpieza final. Un sistema de monitoreo (QC) controla la calidad del agua con respecto al valor del pH, la turbidez y la concentración de hidrocarburos. En caso de que no se cumplan los criterios de descarga de la IMO, la purga se recicla en la unidad para aumentar la calidad.



Figura 31. Unidad de limpieza de agua instalada en el buque. [Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].

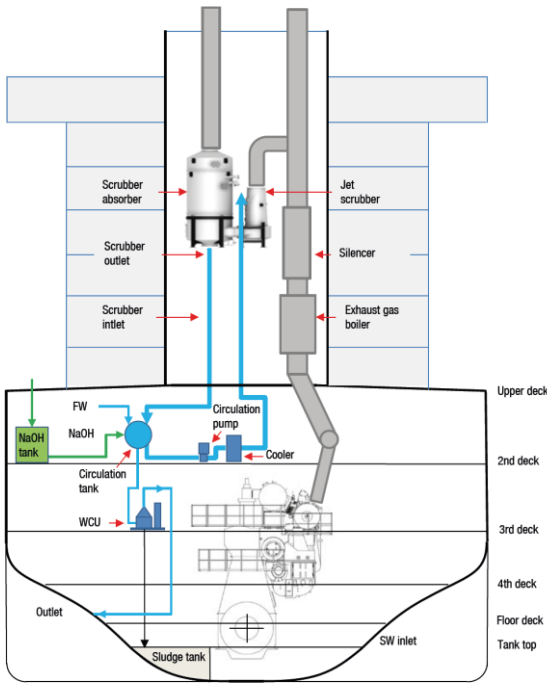


Figura 32. Scrubber húmedo tipo cerrado instalado en el buque tipo. Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].

La eficiencia de este equipo viene dada en función del porcentaje de azufre que contiene el combustible utilizado y si el buque navega dentro o fuera de las zonas ECAs.

Fuel sulphur S%	Scrubber efficiency in ECA, % Sulphur limit: 0.1%	Scrubber efficiency in non-ECA, % Sulphur limit: 0.5%
3.5	97.1	85.7
3.0	96.7	83.3
2.5	96.0	80.0
2.0	95.0	75.0
1.5	93.3	66.7
1.0	90.0	50.0

Tabla 17. Eficiencia del Scrubber instalado. Fuente: Emission Project Guide. Marine Engines. Web: www.engines.man.eu].

Por lo tanto con la instalación de el scrubber húmedo tipo cerrado , Alfa Laval SO_x ,del fabricante MAN las emisiones de SO_x serían las siguiente:

-Emisiones de SO₂ sin scrubber → 3,8838 T de SO₂ al día

-Emisiones de SO₂ con el scrubber instalado:

Zona Eca → 0,1281654 T de SO₂ al día

Fuera de zona ECA → 0,6485946 T de SO₂ al día.

La ruta Barcelona- Beirut actualmente no es zona ECA, pero en visión futura el mar Mediterráneo lo será por lo cual se hace la comparativa de las emisiones mediante la siguiente figura:

Barcelona- Beirut				
Dias totales de ruta		6,64626354	días	
Dias navegando por Zona ECA		6,64626354	días	
Emisiones de SO2 sin scrubber al día		3,8838	T de SO2 al día	
Emisiones de SO2 con scrubber al día				
En zonas ECA		0,1281654	T de SO2 al día	
Fuera de Zonas ECA		0,6485946	T de SO2 al día	
Emisiones de SO2 sin scrubber en toda la ruta		25,8127583	T de SO2 en toda la ruta	
Emisiones de SO2 con scrubber en toda la ruta				
Actualmente (NO ZONA ECA)		4,31073064	T de SO2 en toda la ruta	
Visión futura (ZONA ECA)		0,85182102	T de SO2 en toda la ruta	

Tabla 18. Comparación de emisiones con la aplicación del Scrubber.Ruta Barcelona-Beirut. Fuente: propia]

Las emisiones de SO_x con la aplicación del scrubber (sin ser zona ECA) sería de 4,3107 T de SO₂ en toda la ruta por lo que si en un futuro llega a ser ZONA ECA las emisiones con este mismo scrubber serian 0,85182 T de SO₂ durante todo el recorrido de este buque portacontenedores.

Es una reducción más que evidente con lo que sus emisiones serían mucho más amigables con el medioambiente y por supuesto se cumplirían con los requisitos de la normativa estipulada en zonas de control de emisiones.

En la nueva ruta propuesta por la naviera, Barcelona- Bremerhaven, el buque pasa por aguas donde las emisiones de SO_x están restringidas por lo que se calcula las emisiones en función de los lugares por donde navega y el tiempo que lo hace.

Barcelona- Bremerhaven			
Días totales de ruta		6,82914971	días
Días navegando por Zona ECA		3,84515321	días
Días navegando por Zona NO ECA		2,9839965	días
Emisiones de SO2 sin scrubber al día		3,8838	T de SO2 al día
Emisiones de SO2 con scrubber al día			
En zonas ECA		0,1281654	T de SO2 al día
Fuera de Zonas ECA		0,6485946	T de SO2 al día
Emisiones de SO2 sin scrubber en toda la ruta		26,5230516	
Emisiones de SO2 con scrubber en toda la ruta			
Emisiones en Zonas ECA		0,4928156	
Emisiones en Zonas No ECA		1,93540401	
Emisiones total con scrubber		2,42821961	T de SO2 en toda la ruta

Tabla 19. Comparación de emisiones con la aplicación del Scrubber.Ruta Barcelona-Bremerhaven. Fuente: propia]

En este caso el buque no puede navegar sin el scrubber ya que al tener puertos en el mar Báltico el cual es zona ECA está obligado a ceñirse con la normativa. Por lo que la emisión total de SO_x en esta ruta sería la combinación de la aplicación del scrubber con la eficiencia que tiene en zonas ECAs y fuera de ellas. Por ese motivo se ha desglosado los días que el buque navegará dentro y fuera de esas aguas controladas. La emisión de SO₂ en toda la ruta será de 2,42821961 T de SO₂. Como se puede observar se distingue la eficiencia del scrubber al circular por dentro o por fuera de las zonas ECAs.

Por un lado cuando el buque está navegando por las zonas de emisiones controladas donde el límite permitido es 0,1% de S, la eficiencia del scrubber es del 96,7 %. En su contra la eficiencia baja al tener que cumplir con el límite de azufre permitido fuera de estas zonas controladas. La eficiencia del scrubber fuera de zonas ECA es del 83,8% .

Si se hubiera instalado este scrubber en un buque con las mismas características que el elegido pero la empresa operadora del buque utilizara un combustible con otro contenido de azufre la eficiencia variaría como se ha podido observar.

En los sistemas de reducción de NO_x estudiados en puntos anteriores se ha calculado cual sería el impacto que tendría en la reducción de emisiones en las distintas rutas mencionadas:

Métodos primarios			Ruta Barcelona-Beirut			Ruta Barcelona-Bremerhaven	
EGR (20-50%)	30 %		10,23475867			10,51639	
			23,88110357 T de NOX			24,5382433 T de NOX	
DWI (50-60%)	55 %		18,76372424			19,2800483	
			15,35213801 T de NOX			15,774585 T de NOX	
Emulsión (30%)	30 %		10,23475867			10,51639	
			23,88110357 T de NOX			24,5382433 T de NOX	
HAM (no se sabe exactamente)							

Métodos secundarios							
SCR (95%)	95 %	32,41006914			33,3019016		
		1,705793112	T de NOX		1,75273166	T de NOX	
SNCR (30-50%)	40 %	13,6463449			14,0218533		
		20,46951735	T de NOX		21,0327799	T de NOX	

Tabla 20. Reducción de emisiones de NO₂ en métodos primarios y secundarios. [Fuente: Propia].

Se ha estudiado el impacto de cada uno de los sistemas de reducción de NO_x explicado en este trabajo para ver cual realmente era el más eficiente y por lo tanto se podía instalar en el portacontenedores para reducir las emisiones contaminantes y evitar daños mayores en los seres humanos y en el medio ambiente.

Las soluciones primarias se basan en la modificación o el diseño de los sistemas de combustión en instalaciones. El método más eficiente sin la necesidad de instalar un sistema a parte es el Direct Water Injection, el cual mediante una inyección de agua en la cámara de combustión produce una reducción de óxido de nitrógeno a costa de un aumento de un 2% del consumo combustible. Este método tiene una reducción de emisiones de aproximadamente un 55 %. En la tabla 20 se observa las emisiones que tendría se se aplicase este método a bordo del buque haciendo las dos rutas estudiadas durante todo el transcurso del trabajo.

Por otro lado tenemos soluciones secundarias las cuales consisten reducir el contenido de NO_x de la sustancia ya creada en la combustión. En este caso se puede observar que estas son mucho más eficientes que en las que la reducción se lleva a cabo durante el proceso de la combustión. La mejor solución para la reducción de emisiones de NO_x es claramente la SCR ,Selective Catalytic Reduction, basada en la reducción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) con la inyección de amoníaco (NH₃) ,en presencia de exceso de oxígeno (O₂) y un catalizador ,todo esto dentro de un rango de temperatura apropiado dando lugar a la transformación de los NO_x

en sustancias inocuas tales como el nitrógeno (N_2) y en vapor de agua (H_2O). Este método tiene una eficiencia de reducción de emisiones del 95%, con lo cual es el método más efectivo para la reducción de óxidos de nitrógeno aún siendo este sistema el más costoso de instalar y mantener. Todas las ventajas destacan por encima del principal inconveniente. El SCR ocupa poco espacio, lo cual está muy valorado en buques los cuales se dedican a transportar carga. El sistema no afecta al rendimiento del motor cosa que las características técnicas se mantienen constantes y sobre todo lo más importante lograr reducir las emisiones casi al 100% para que el buque contamine lo menos posible. El SCR es el método más efectivo para la reducción de emisiones de NO_2 , los números en la tabla 20 son su mejor definición.

3.3 COSTE DEL ESTUDIO DEL PROYECTO

Después del desarrollo del proyecto y de conseguir reducir las emisiones del buque tipo para cumplir con la normativa se establece el coste económico que tendría este proyecto si fuese contratado por alguna empresa. Debido a la falta de información no se podrá analizar el coste total del proyecto con los elementos introducidos en el buque pero se estimará el coste del estudio que se ha llevado a cabo para poder hacer el rediseño de la cámara de máquinas.

Se ha establecido un precio medio de 40€/h según las consultorías especialistas en el sector.

Como se observa a continuación se ha distribuido el proyecto en cinco fases. La fase del trabajo de campo incluye la vista al buque cuando estuvo realizando operaciones en el puerto de Barcelona, los mails que se recibieron con el primer oficial del buque y las horas con el departamento de operaciones de la naviera que opera el buque tipo. Cabe destacar que las fases más importantes han sido recopilar toda la información y analizarla.

Fase del proyecto	Horas	Coste
Recopilación de información	250 h	10.000€
Análisis de la información	290 h	11.600€
Trabajo de campo	110 h	4.400€
Redacción del trabajo	247 h	9.880€
Revisión del proyecto	95 h	3.800€
TOTAL	992 h	39.680€

Tabla 21. Coste del estudio del proyecto.[Fuente: propia]

Conclusiones

El gran problema ambiental que genera la emisión de gases de óxido de azufre y nitrógeno en el transporte marítimo junto con la decisión de hacer rutas comerciales del buque tipo por el mar Báltico ha llevado a analizar y rediseñar la cámara de máquinas de este buque portacontenedores.

El sector marítimo es el principal contaminante de emisiones de NO_x y SO_x como se ha podido comprobar según un estudio que hizo el ayuntamiento de Barcelona, *Plan de mejora de la calidad del aire de Barcelona*, el año pasado el puerto de Barcelona emitió más de 6.000 T de NO_x muy por encima del tráfico viario y de los grandes focos industriales donde sitúan las emisiones entorno a los 1.600 T de NO_x cada uno de ellos. Actualmente el Mar Mediterráneo no está designado como zona de control de emisiones para los buques que navegan en él, pero en un futuro la organización marítima internacional estudia adherirlo junto con el canal de la mancha como zonas ECA.

Actualmente el buque tipo cubre rutas por el Mediterráneo una de ellas Barcelona-Beirut, pero la naviera propietaria del buque se plantea abrir nuevas rutas por el norte de Europa entre ellas Barcelona- Bremerhaven, la cual terminaría en el mar Báltico y por lo tanto el buque que navegase por sus aguas tendría que cumplir con la normativa que las zonas ECAs requieren. En este caso y según estudiado en la zona del mar Báltico solo sería necesario cumplir con la reducción de óxidos de azufre. A pesar de ello también se ha estudiado como reducir las

emisiones de NO_x y se ha sopesado que método sería el más eficaz y eficiente para reducir lo máximo posible los óxidos de nitrógeno y contaminar lo menos posible a la atmósfera.

Para calcular la emisión de NO_x que emitía el buque se han usado los factores de emisiones proporcionados por la agencia Europa del Medioambiente. La emisión del cual era de 79,3 kg de NO_x / T de combustible para buques con características similares . A partir de aquí y con el consumo de combustible de las especificaciones se ha estipulado una emisión de 5,133089 T NO_x / día sin aplicación de ningún método de reducción de NO_x . Con los métodos de reducción estudiados se ha llegado a la conclusión que el más eficiente y eficaz es la reducción selectiva catalítica , la cual se basa en la inyección de amoníaco en presencia de exceso de oxígeno lo cual comporta la reacción química de convertir NO_x en sustancias inocuas como el nitrógeno y el vapor de agua. La única desventaja es el precio de instalación pero muchas son las ventajas que sobrepasan al inconveniente. Es un sistema que ocupa poco espacio, que no afecta al rendimiento del motor y que reduce las emisiones al 95%. Con lo cual lo hace el mejor sistema que se puede instalar a bordo para reducción de emisiones de NO_x . En el apartado 3.2 se observa la eficiencia de cada uno de los posibles sistemas de reducción de óxido de nitrógeno y sin duda el que da mejores resultados y el más efectivo es este. Después de realizar el cálculo de las emisiones con el sistema SCR se puede decir que en una ruta como Barcelona- Beirut el buque emite 1,705 T de NO_x durante todo el trayecto. En cambio sin la aplicación de este sistema el buque emitía 5,133 T de NO_x al día.

Uno de los puntos más importantes de este trabajo era la reducción de las emisiones de SO_x hasta el límite permitido dentro de las zonas ECAS. Actualmente este buque usa el combustible IFO 380 (contiene 3,5% de azufre), por lo que no puede circular por zonas ECAs donde el contenido en azufre máximo permitido es de 0,1%.

Para ello se han estudiado diferentes tipos de scrubbers y finalmente se ha elegido el scrubber húmedo tipo cerrado ya que no ocupa tanto espacio como el scrubber híbrido y tampoco se

tiene que depender de los niveles de alcalinidad del agua del mar como en el scrubber húmedo tipo abierto. El scrubber instalado en el buque tipo es el Alfa Laval SO_x del fabricante MAN donde el rendimiento para combustibles del 3% de azufre es de 96,7% dentro de zonas ECAs y 83,3% fuera de ellas (ver especificaciones y fotografías en el punto 3.2).

A todo ello se ha demostrado la facilidad con que las navieras pueden adaptar sus buques a la nueva normativa ya que actualmente existen muchos sistemas para reducir las emisiones de SO_x y NO_x. En este proyecto se ha decidido aplicar la reducción selectiva catalítica para reducir las emisiones de NO_x y el scrubber húmedo tipo cerrado para la reducción de emisiones de óxidos de azufre.

Después del estudio realizado queda demostrado que la tecnología va por delante de la normativa ya que en el MARPOL solo se especifica el límite de azufre permitido en zonas ECAs y no los métodos que se podrían aplicar para poder reducir las emisiones. Por ejemplo el uso de scrubbers no está contemplado en el MARPOL, con lo cual muchas navieras solo lo instalan como alternativa y en caso de ser necesario.

En la actualidad y para llegar a tener un mundo medioambientalmente mejor se tendrían que adaptar las medidas no por tener que cumplir solo con la normativa sino para ser más sostenibles con el medioambiente y hacer así entre todos un mundo mejor.

Bibliografia

(1) Organización Marítima Internacional. Convenio Marpol.

(2) Transport and environment. Recuperado el 17 de 02 de 2018, de Air pollution from ships:

<https://www.transportenvironment.org/>

(3) Ajuntament de Barcelona. Recuperado el 18 de 02 de 2018, de Plan de mejora de la calidad del aire de Barcelona:

https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/sites/default/files/pdfs/PMQAB_ES_2014.pdf

(4) Green Facts. Recuperado el 05 de 03 de 2018, de Contaminación del Aire Partículas en suspensión: <https://www.greenfacts.org/es/particulas-suspension-pm/index.htm>

(5) Agencia Estatal Boletín oficial del estado. Recuperado el 04 de 02 de 2018, de Real Decreto 102/2011: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>

(6) Organización Marítima internacional (OMI). Recuperado el 04 de 03 de 2018, de Zonas ECAs:

<http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention>

(7) EGSA. Recuperado el 10 de 04 de 2018, de NOx Reduction by Exhaust Gas Recirculation – MAN explains: <http://www.egcsa.com/exhaust-gas-recirculation-explained/>

(8) Cynergi. Recuperado el 10 de 04 de 2018, de Emulsión de combustible:

<http://www.cynergi.eu/es/catalogue/products/emulsion>

(8) Wärtsilä. Recuperado el 11 de 04 de 2018, de Computational fluid dynamics (CFD) :

<https://www.wartsila.com/>

(9) Wärtsilä. Recuperado el 10 de 04 de 2018, de HAM (Humid Air Motor) method:

<https://www.wartsila.com/>

(10) IACSEA. Recuperado el 20 de 04 de 2018, de SCR: <https://www.iaccsea.com/scr/>

(11) EPA. Recuperado el 04 de 24 de 2018, de Chapter 1- Selective Non-Catalytic Reduction - SNCR: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/>

(12) DUSTEX. Recuperado el 06 de 05 de 2018, de Scrubbers.

(13) Wärtsilä. Recuperado el 14 de 05 de 2018, de Hybrid Scrubber System:

<https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/>

(14) Ship & Bunker. Recuperado el 20 de 05 de 2018, de World Bunker Prices:

<https://shipandbunker.com/prices>

(15) European Environment Agency. Recuperado el 13 de 06 de 2018, de Air pollutant emission:

<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>

(16) MAN Marine. Recuperado el 28 de 06 de 2018, de Emission Project Guide- MAN B&W Two-stroke Marine Engines: https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/7020-0145_uk.pdf

(17) Alfayete Blanco, J. (2018). Contaminación ambiental

(18) Barrenetxa Orozco, C. (2011). Contaminación ambiental. Una visión des de la química.

ANEXO I: GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS

ANNEX 9

RESOLUTION MEPC.184(59) Adopted on 17 July 2009

2009 GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS

THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE,

RECALLING Article 38(a) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Marine Environment Protection Committee conferred upon it by international conventions for the prevention and control of marine pollution,

RECALLING ALSO that MARPOL Annex VI entered into force on 19 May 2005,

RECALLING FURTHER resolution MEPC.170(57) by which the Committee adopted the Guidelines for exhaust gas cleaning system,

NOTING that the revised MARPOL Annex VI was adopted by resolution MEPC.176(58) which is expected to enter into force on 1 July 2010,

NOTING ALSO that regulation 4 of the revised MARPOL Annex VI allows the use of an alternative compliance methods at least as effective in terms of emission reductions as that required by the revised MARPOL Annex VI, including any of the standards set forth in regulation 14, taking into account guidelines developed by the Organization,

RECOGNIZING the need to revise the Guidelines for exhaust gas cleaning systems, in accordance with provisions of the revised MARPOL Annex VI,

HAVING CONSIDERED the 2009 Guidelines for exhaust gas cleaning systems prepared by the Sub-Committee on Bulk Liquids and Gases at its thirteenth session,

1. ADOPTS the 2009 Guidelines for exhaust gas cleaning systems, as set out in the Annex to this resolution;
2. INVITES Governments to apply the 2009 Guidelines from 1 July 2010;
3. URGES Administrations to provide for collection of data under Appendix III; and
4. REVOKES the Guidelines adopted by resolution MEPC.170(57) as from 1 July 2010.

ANNEX

2009 GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS**1 INTRODUCTION**

1.1 Regulation 14 of Annex VI to MARPOL 73/78 requires ships to use fuel oil with a sulphur content not exceeding that stipulated in regulation 14.1 or 14.4. Regulation 4 allows, with the approval of the Administration, the use of an alternative compliance method at least as effective in terms of emission reductions as that required by the Annex, including the standards set forth in regulation 14. The Administration of a party should take into account any relevant guidelines developed by the Organization pertaining to alternatives provided for in regulation 4.

1.2 Similar to a NO_x emission reduction system, an EGC unit may be approved subject to periodic parameter and emission checks or the system may be equipped with a continuous emission monitoring system. These Guidelines have been developed with the intention of being objective and performance oriented. Furthermore, use of the SO₂ (ppm)/CO₂ (%) ratio method will simplify the monitoring of SO_x emission and facilitate approval of an EGC unit. See Appendix II for the rationale explaining the use of SO₂ (ppm)/CO₂ (%) as the basis for system monitoring.

1.3 Compliance should be demonstrated on the basis of the SO₂(ppm)/CO₂(% v/v) ratio values.

Table 1

Fuel oil sulphur limits recorded in regulations 14.1 and 14.4 and corresponding emissions values

Fuel Oil Sulphur Content (% m/m)	Ratio Emission SO ₂ (ppm)/CO ₂ (% v/v)
4.50	195.0
3.50	151.7
1.50	65.0
1.00	43.3
0.50	21.7
0.10	4.3

Note: The use of the Ratio Emissions limits is only applicable when using petroleum based Distillate or Residual Fuel Oils. See Appendix II for application of the ratio method.

1.4 These Guidelines are recommendatory in nature; however, Administrations are invited to base their implementation on these Guidelines.

2 GENERAL**2.1 Purpose**

2.1.1 The purpose of these Guidelines is to specify the requirements for the testing, survey certification and verification of exhaust gas cleaning (EGC) systems under regulation 4 to ensure that they provide effective equivalence to requirements of regulations 14.1 and 14.4 of Annex VI of MARPOL 73/78.

2.1.2 The Guidelines permit two schemes; Scheme A (Unit Certification with Parameter and Emission Checks, and Scheme B (Continuous Emission Monitoring with Parameter Checks).

2.1.3 For ships which are to use an exhaust gas cleaning system in part or in total in order to comply with regulations 14.1 and/or 14.4 of MARPOL Annex VI there should be an approved SO_x Emissions Compliance Plan (SECP).

2.2 Application

2.2.1 These Guidelines apply to any EGC unit as fitted to fuel oil combustion machinery, excluding shipboard incinerators, installed on board a ship.

2.3 Definitions and Required Documents

Fuel oil combustion unit	Any engine, boiler, gas turbine, or other fuel oil fired equipment, excluding shipboard incinerators
EGC	Exhaust gas cleaning
SO _x	Sulphur oxides
SO ₂	Sulphur dioxide
CO ₂	Carbon dioxide
UTC	Universal Time Co-ordinated
Certified Value	The SO ₂ /CO ₂ ratio specified by the manufacturer that the EGC unit is certified as meeting when operating on a continuous basis on the manufacturers specified maximum fuel sulphur content
<i>In situ</i>	Sampling directly within an exhaust gas stream
MCR	Maximum Continuous Rating
Load Range	Maximum rated power of diesel engine or maximum steaming rate of the boiler
SECP	SO _x Emissions Compliance Plan
SECC	SO _x Emissions Compliance Certificate
ETM-A	EGC system – Technical Manual for Scheme A
ETM-B	EGC system – Technical Manual for Scheme B
OMM	Onboard Monitoring Manual
EGC Record Book	A record of the EGC unit in-service operating parameters, component adjustments, maintenance and service records as appropriate

Document	Scheme A	Scheme B
SECP	X	X
SECC	X	
ETM Scheme A	X	
ETM Scheme B		X
OMM	X	X
EGC Record Book or Electronic Logging System	X	X

3 SAFETY NOTE

3.1 Due attention is to be given to the safety implications related to the handling and proximity of exhaust gases, the measurement equipment and the storage and use of pressurized containers of pure and calibration gases. Sampling positions and permanent access platforms should be such that this monitoring may be performed safely. In locating discharge outlet of washwater used in the EGC unit, due consideration should be given to the location of the ship's seawater inlet. In all operating conditions the pH should be maintained at a level that avoids damage to the vessel's anti-fouling system, the propeller, rudder and other components that may be vulnerable to acidic discharges, potentially causing accelerated corrosion of critical metal components.

4 SCHEME A – EGC SYSTEM APPROVAL, SURVEY AND CERTIFICATION USING PARAMETER AND EMISSION CHECKS

4.1 Approval of EGC systems

4.1.1 General

Options under Scheme A of these Guidelines provide for:

- a) Unit approval;
- b) Serially manufactured units;
- c) Production range approval.

4.1.2 Unit approval

4.1.2.1 An EGC unit should be certified as capable of meeting the limit value, (the Certified Value), specified by the manufacturer (e.g., the emission level the unit is capable of achieving on a continuous basis) with fuel oils of the manufacturer's specified maximum % m/m sulphur content and for the range of operating parameters, as listed in 4.2.2.1(b), for which they are to be approved. The Certified Value should at least be suitable for ship operations under requirements given by MARPOL Annex VI regulations 14.1 and/or 14.4.

4.1.2.2 Where testing is not to be undertaken with fuel oils of the manufacturer's specified maximum % m/m sulphur content, the use of two test fuels with a lower % m/m sulphur content is permitted. The two fuels selected should have a difference in % m/m sulphur content sufficient to demonstrate the operational behaviour of the EGC unit and to demonstrate that the Certified Value can be met if the EGC unit were to be operated with a fuel of the manufacturer's specified maximum % m/m sulphur content. In such cases a minimum of two tests, in accordance with section 4.3 as appropriate, should be performed. These need not be sequential and could be undertaken on two different, but identical, EGC units.

4.1.2.3 The maximum and, if applicable, minimum exhaust gas mass flow rate of the unit should be stated. The effect of variation of the other parameters defined in 4.2.2.1(b) should be justified by the equipment manufacturer. The effect of variations in these factors should be assessed by testing or otherwise as appropriate. No variation in these factors, or combination of variations in these factors, should be such that the emission value of the EGC unit would be in excess of the Certified Value.

4.1.2.4 Data obtained in accordance with this section should be submitted to the Administration for approval together with the ETM-A.

4.1.3 Serially manufactured units

In the case of nominally similar EGC units of the same mass flow ratings as that certified under 4.1.2, and to avoid the testing of each EGC unit, the equipment manufacturer may submit, for acceptance by the Administration, a conformity of production arrangement. The certification of each EGC unit under this arrangement should be subject to such surveys that the Administration may consider necessary as to assure that each EGC unit has an emission value of not more than the Certified Value when operated in accordance with the parameters defined in 4.2.2.1(b).

4.1.4 Product range approval

4.1.4.1 In the case of an EGC unit of the same design, but of different maximum exhaust gas mass flow capacities, the Administration may accept, in lieu of tests on an EGC unit of all capacities in accordance with section 4.1.2, tests of EGC systems of three different capacities provided that the three tests are performed at intervals including the highest, lowest and one intermediate capacity rating within the range.

4.1.4.2 Where there are significant differences in the design of EGC units of different capacities, this procedure should not be applied unless it can be shown, to the satisfaction of the Administration, that in practice those differences do not materially alter the performance between the various EGC unit types.

4.1.4.3 For EGC units of different capacities, the sensitivity to variations in the type of combustion machinery to which they are fitted should be detailed together with sensitivity to the variations in the parameters listed in 4.2.2.1(b). This should be on the basis of testing, or other data as appropriate.

4.1.4.4 The effect of changes of EGC unit capacity on washwater characteristics should be detailed.

4.1.4.5 All supporting data obtained in accordance with this section, together with the ETM-A for each capacity unit, should be submitted to the Administration for approval.

4.2 Survey and certification

4.2.1 Procedures for the certification of an EGC unit

4.2.1.1 In order to meet the requirements of 4.1 either prior to, or after installation on board, each EGC unit should be certified as meeting the Certified Value specified by the manufacturer (e.g., the emission level the unit is capable of achieving on a continuous basis) under the operating conditions and restrictions as given by the EGC Technical Manual (ETM-A) as approved by the Administration.

4.2.1.2 Determination of the Certified Value should be in accordance with the provisions of these Guidelines.

4.2.1.3 Each EGC unit meeting the requirements of 4.2.1.1 should be issued with a SECC by the Administration. The form of the SECC is given in Appendix I.

4.2.1.4 Application for an SECC should be made by the EGC system manufacturer, shipowner or other party.

4.2.1.5 Any subsequent EGC units of the same design and rating as that certified under 4.2.1.1 may be issued with an SECC by the Administration without the need for testing in accordance with 4.2.1.1 subject to section 4.1.3 of these Guidelines.

4.2.1.6 EGC units of the same design, but with ratings different from that certified under 4.2.1.1 may be accepted by the Administration subject to section 4.1.4 of these Guidelines.

4.2.1.7 EGC units which treat only part of the exhaust gas flow of the uptake in which they are fitted should be subject to special consideration by the Administration to ensure that under all defined operating conditions that the overall emission value of the exhaust gas down stream of the system is no more than the Certified Value.

4.2.2 EGC System Technical Manual "Scheme A" (ETM-A).

4.2.2.1 Each EGC unit should be supplied with an ETM-A provided by the manufacturer. This ETM-A should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the identification of the unit (manufacturer, model/type, serial number and other details as necessary) including a description of the unit and any required ancillary systems;
- (b) the operating limits, or range of operating values, for which the unit is certified. These should, as a minimum, include:
 - (i) maximum and, if applicable, minimum mass flow rate of exhaust gas;
 - (ii) the power, type and other relevant parameters of the fuel oil combustion unit for which the EGC unit is to be fitted. In the cases of boilers, the maximum air/fuel ratio at 100% load should also be given. In the cases of diesel engines whether the engine is of 2 or 4-stroke cycle;
 - (iii) maximum and minimum washwater flow rate, inlet pressures and minimum inlet water alkalinity (ISO 9963-1-2);
 - (iv) exhaust gas inlet temperature ranges and maximum and minimum exhaust gas outlet temperature with the EGC unit in operation;
 - (v) exhaust gas differential pressure range and the maximum exhaust gas inlet pressure with the fuel oil combustion unit operating at MCR or 80% of power rating whichever is appropriate;
 - (vi) salinity levels or fresh water elements necessary to provide adequate neutralizing agents; and
 - (vii) other factors concerning the design and operation of the EGC unit relevant to achieving a maximum emission value no higher than the Certified Value;
- (c) any requirements or restrictions applicable to the EGC unit or associated equipment necessary to enable the unit to achieve a maximum emission value no higher than the Certified Value;

- (d) maintenance, service or adjustment requirements in order that the EGC unit can continue to achieve a maximum emission value no higher than the Certified Value. The maintenance, servicing and adjustments should be recorded in the EGC Record Book;
- (e) corrective actions in case of exceedances of the applicable maximum allowable SO₂/CO₂ ratio, or wash water discharge criteria;
- (f) a verification procedure to be used at surveys to ensure that its performance is maintained and that the unit is used as required (see section 4.4);
- (g) through range performance variation in washwater characteristics;
- (h) design requirements of the washwater system; and
- (i) the SECC.

4.2.2.2 The ETM-A should be approved by the Administration.

4.2.2.3 The ETM-A should be retained on board the ship onto which the EGC unit is fitted. The ETM-A should be available for surveys as required.

4.2.2.4 Amendments to the ETM-A which reflect EGC unit changes that affect performance with respect to emissions to air and/or water should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the ETM-A are separate to the ETM-A as initially approved, they should be retained with the ETM-A and should be considered as part of the ETM-A.

4.2.3 In service surveys

4.2.3.1 The EGC unit should be subject to survey on installation and at Initial, Annual/Intermediate and Renewals Surveys by the Administration.

4.2.3.2 In accordance with MARPOL Annex VI regulation 10, EGC units may also be subject to inspection by port State control.

4.2.3.3 Prior to use each EGC unit should be issued with an SECC by the Administration.

4.2.3.4 Following the installation survey as required by 4.2.3.1, section 2.6 of the Supplement to the ship's International Air Pollution Certificate should be duly completed.

4.3 Emission limits

4.3.1 Each EGC unit should be capable of reducing emissions to equal to or less than the Certified Value at any load point when operated in accordance with the criteria as given within 4.2.2.1(b), as specified in paragraphs 4.3.2 to 4.3.5 of these Guidelines, and as excepted in paragraph 4.3.7.

4.3.2 EGC units fitted to main propulsion diesel engines should meet the requirements of 4.3.1 at all loads between 25-100% of the load range of the engines to which they are fitted.

4.3.3 EGC units fitted to auxiliary diesel engines should meet the requirements of 4.3.1 at all loads between 10-100% of the load range of the engines to which they are fitted.

4.3.4 EGC units fitted to diesel engines which supply power for both main propulsion and auxiliary purposes should meet the requirements of 4.3.3.

4.3.5 EGC units fitted to boilers should meet the requirements of 4.3.1 at all loads between 10-100% of the load range (steaming rates) or, if the turn down ratio is smaller, over the actual load range of the boilers to which they are fitted.

4.3.6 In order to demonstrate performance, emission measurements should be undertaken, with the agreement of the Administration, at a minimum of four load points. One load point should be at 95-100% of the maximum exhaust gas mass flow rate for which the unit is to be certified. One load point should be within $\pm 5\%$ of the minimum exhaust gas mass flow rate for which the unit is to be certified. The other two load points should be equally spaced between the maximum and minimum exhaust gas mass flow rates. Where there are discontinuities in the operation of the system the number of load points should be increased, with the agreement of the Administration, so that it is demonstrated that the required performance over the stated exhaust gas mass flow rate range is retained. Additional intermediate load points should be tested if there is evidence of an emission peak below the maximum exhaust gas mass flow rate and above, if applicable, the minimum exhaust gas flow rate. These additional tests should be sufficient number as to establish the emission peak value.

4.3.7 For loads below those specified in 4.3.2 to 4.3.5, the EGC unit should continue in operation. In those cases where the fuel oil combustion equipment may be required to operate under idling conditions, the SO₂ emission concentration (ppm) at standardized O₂ concentration (15.0% diesel engines, 3.0% boilers) should not exceed 50 ppm.

4.4 Onboard procedures for demonstrating compliance

4.4.1 For each EGC unit, the ETM-A should contain a verification procedure for use at surveys as required. This procedure should not require specialized equipment or an in-depth knowledge of the system. Where particular devices are required they should be provided and maintained as part of the system. The EGC unit should be designed in such a way as to facilitate inspection as required. The basis of this verification procedure is that if all relevant components and operating values or settings are within those as approved, then the performance of the EGC system is within that required without the need for actual exhaust emission measurements. It is also necessary to ensure that the EGC unit is fitted to a fuel oil combustion unit for which it is rated – this forms part of the SECP. A Technical File related to an EIAPP certificate, if available, or an Exhaust Gas Declaration issued by the engine maker or designer or another competent party or a Flue Gas Declaration issued by the boiler maker or designer or another competent party serves this purpose to the satisfaction of the Administration.

4.4.2 Included in the verification procedure should be all components and operating values or settings which may affect the operation of the EGC unit and its ability to meet the Certified Value.

4.4.3 The verification procedure should be submitted by the EGC system manufacturer and approved by the Administration.

4.4.4 The verification procedure should cover both a documentation check and a physical check of the EGC unit.

4.4.5 The Surveyor should verify that each EGC unit is installed in accordance with the ETM-A and has an SECC as required.

4.4.6 At the discretion of the Administration, the Surveyor should have the option of checking one or all of the identified components, operating values or settings. Where there is more than one EGC unit, the Administration may, at its discretion, abbreviate or reduce the extent of the survey on board, however, the entire survey should be completed for at least one of each type of EGC unit on board provided that it is expected that the other EGC units perform in the same manner.

4.4.7 The EGC unit should include means to automatically record when the system is in use. This should automatically record, at least at the frequency specified in paragraph 5.4.2, as a minimum, washwater pressure and flow rate at the EGC unit's inlet connection, exhaust gas pressure before and pressure drop across the EGC unit, fuel oil combustion equipment load, and exhaust gas temperature before and after the EGC unit. The data recording system should comply with the requirements of sections 7 and 8. In case of a unit consuming chemicals at a known rate as documented in ETM-A, records of such consumption in the EGC Record Book also serves this purpose.

4.4.8 Under Scheme A, if a continuous exhaust gas monitoring system is not fitted, it is recommended that a daily spot check of the exhaust gas quality in terms of SO₂ (ppm)/CO₂ (%) ratio, is used to verify compliance in conjunction with parameter checks stipulated in 4.4.7. If a continuous exhaust gas monitoring system is fitted, only daily spot checks of the parameters listed in paragraph 4.4.7 would be needed to verify proper operation of the EGC unit.

4.4.9 If the EGC system manufacturer is unable to provide assurance that the EGC unit will meet the Certified Value or below between surveys, by means of the verification procedure stipulated in 4.4.1, or if this requires specialist equipment or in-depth knowledge, it is recommended that continuous exhaust gas monitoring of each EGC unit be used, Scheme B, to assure compliance with regulations 14.1 and/or 14.4.

4.4.10 An EGC Record Book should be maintained by the shipowner recording maintenance and service of the unit including like-for-like replacement. The form of this record should be submitted by the EGC system manufacturer and approved by the Administration. This EGC Record Book should be available at surveys as required and may be read in conjunction with engine-room log-books and other data as necessary to confirm the correct operation of the EGC unit. Alternatively, this information should be recorded in the vessel's planned maintenance record system as approved by the Administration.

5 SCHEME B – EGC SYSTEM APPROVAL, SURVEY AND CERTIFICATION USING CONTINUOUS MONITORING OF SO_x EMISSIONS

5.1 General

This Scheme should be used to demonstrate that the emissions from a fuel oil combustion unit fitted with an EGC will, with that system in operation, result in the required emission value (e.g., as stated in the SECP) or below at any load point, including during transient operation and thus compliance with the requirements of regulations 14.1 and/or 14.4 of MARPOL Annex VI.

5.2 Approval

Compliance demonstrated in service by continuous exhaust gas monitoring. Monitoring system should be approved by the Administration and the results of that monitoring available to the Administration as necessary to demonstrate compliance as required.

5.3 Survey and certification

5.3.1 The monitoring system of the EGC system should be subject to survey on installation and at Initial, Annual/Intermediate and Renewals Surveys by the Administration.

5.3.2 In accordance with regulation 10 of MARPOL Annex VI monitoring systems of EGC units may also be subject to inspection by port State control.

5.3.3 In those instances where an EGC system is installed, section 2.6 of the Supplement to the ship's International Air Pollution Prevention Certificate should be duly completed.

5.4 Calculation of emission rate

5.4.1 Exhaust gas composition in terms of SO₂ (ppm)/CO₂ (%) should be measured at an appropriate position after the EGC unit and that measurement should be in accordance with the requirements of section 6 as applicable.

5.4.2 SO₂ (ppm) and CO₂ (%) to be continuously monitored and recorded onto a data recording and processing device at a rate which should not be less than 0.0035 Hz.

5.4.3 If more than one analyser is to be used to determine the SO₂/CO₂ ratio, these should be tuned to have similar sampling and measurement times and the data outputs aligned so that the SO₂/CO₂ ratio is fully representative of the exhaust gas composition.

5.5 Onboard procedures for demonstrating compliance with emission limit

5.5.1 The data recording system should comply with the requirements of sections 7 and 8.

5.5.2 Daily spot checks of the parameters listed in paragraph 4.4.7 are needed to verify proper operation of the EGC unit and should be recorded in the EGC Record Book or in the engine-room logger system.

5.6 EGC System Technical Manual "Scheme B" (ETM-B)

5.6.1 Each EGC unit should be supplied with an ETM-B provided by the Manufacturer. This ETM-B should, as a minimum, contain the following information:

- (a) the identification of the unit (manufacturer, model/type, serial number and other details as necessary) including a description of the unit and any required ancillary systems;
- (b) the operating limits, or range of operating values, for which the unit is certified. These should, as a minimum, include:
 - (i) maximum and, if applicable, minimum mass flow rate of exhaust gas;

- (ii) the power, type and other relevant parameters of the fuel oil combustion unit for which the EGC unit is to be fitted. In the cases of boilers, the maximum air/fuel ratio at 100% load should also be given. In the cases of diesel engines whether the engine is of 2 or 4-stroke cycle;
 - (iii) maximum and minimum washwater flow rate, inlet pressures and minimum inlet water alkalinity (ISO 9963-1-2);
 - (iv) exhaust gas inlet temperature ranges and maximum and minimum exhaust gas outlet temperature with the EGC unit in operation;
 - (v) exhaust gas differential pressure range and the maximum exhaust gas inlet pressure with the fuel oil combustion unit operating at MCR or 80% of power rating whichever is appropriate;
 - (vi) salinity levels or fresh water elements necessary to provide adequate neutralizing agents; and
 - (vii) other parameters as necessary concerning the operation of the EGC unit;
- (c) any requirements or restrictions applicable to the EGC unit or associated equipment;
 - (d) corrective actions in case of exceedances of the applicable maximum allowable SO₂/CO₂ ratio, or washwater discharge criteria;
 - (e) through range performance variation in washwater characteristics;
 - (f) design requirements of the washwater system.

5.6.2 The ETM-B should be approved by the Administration.

5.6.3 The ETM-B should be retained on board the ship onto which the EGC unit is fitted. The ETM-B should be available for surveys as required.

5.6.4 Amendments to the ETM-B which reflect EGC unit changes that affect performance with respect to emissions to air and/or water should be approved by the Administration. Where additions, deletions or amendments to the ETM-B are separate to the ETM-B as initially approved, they should be retained with the ETM-B and should be considered as part of the ETM-B.

6 EMISSION TESTING

6.1 Emission testing should follow the requirements of the NO_x Technical Code 2008, chapter 5, and associated Appendices, except as provided for in these Guidelines.

6.2 CO₂ should be measured on a dry basis using an analyser operating on non-dispersive infra-red (NDIR) principle. SO₂ should be measured on a dry or wet basis using analysers operating on non-dispersive infra-red (NDIR) or non-dispersive ultra-violet (NDUV) principles and with additional equipment such as dryers as necessary. Other systems or analyser principles may be accepted, subject to the approval of the Administration, provided they yield equivalent or better results to those of the equipment referenced above.

6.3 Analyser performance should be in accordance with the requirements of Appendix III sections 1.6 to 1.10 of the NO_x Technical Code 2008.

6.4 An exhaust gas sample for SO₂ should be obtained from a representative sampling point downstream of the EGC unit.

6.5 SO₂ and CO₂ should be monitored using either *in situ* or extractive sample systems.

6.6 Extractive exhaust gas samples for SO₂ determination should be maintained at a sufficient temperature to avoid condensed water in the sampling system and hence loss of SO₂.

6.7 If an extractive exhaust gas sample for determination needs to be dried prior to analysis it should be done in a manner that does not result in loss of SO₂ in the sample as analysed.

6.8 Where SO₂ is measured by an *in situ* system, the water content in the exhaust gas stream at that point is also to be determined in order to correct the reading to a dry basis value.

6.9 In justified cases where the CO₂ concentration is reduced by the EGC unit, the CO₂ concentration can be measured at the EGC unit inlet, provided that the correctness of such a methodology can be clearly demonstrated.

7 DATA RECORDING AND PROCESSING DEVICE

7.1 The recording and processing device should be of robust, tamper-proof design with read-only capability.

7.2 The recording and processing device should record the data required by sections 4.4.7, 5.4.2, and 10.3 against UTC and ships position by a Global Navigational Satellite System (GNSS).

7.3 The recording and processing device should be capable of preparing reports over specified time periods.

7.4 Data should be retained for a period of not less than 18 months from the date of recording. If the unit is changed over that period, the shipowner should ensure that the required data is retained on board and available as required.

7.5 The device should be capable of downloading a copy of the recorded data and reports in a readily useable format. Such copy of the data and reports should be available to the Administration or port State authority as requested.

8 ONBOARD MONITORING MANUAL (OMM)

8.1 An OMM should be prepared to cover each EGC unit installed in conjunction with fuel oil combustion equipment, which should be identified, for which compliance is to be demonstrated.

8.2 The OMM should, as a minimum, include:

- (a) the sensors to be used in evaluating EGC system performance and washwater monitoring, their service, maintenance and calibration requirements;

- (b) the positions from which exhaust emission measurements and washwater monitoring are to be taken together with details of any necessary ancillary services such as sample transfer lines and sample treatment units and any related service or maintenance requirements;
- (c) the analysers to be used, their service, maintenance, and calibration requirements;
- (d) analyser zero and span check procedures; and
- (e) other information or data relevant to the correct functioning of the monitoring systems or its use in demonstrating compliance.

8.3 The OMM should specify how the monitoring is to be surveyed.

8.4 The OMM should be approved by the Administration.

9 SHIP COMPLIANCE

9.1 SO_x Emissions Compliance Plan (SECP)

9.1.1 For all ships which are to use an EGC unit, in part or in total, in order to comply with the requirements of regulations 14.1 and 14.4 of MARPOL Annex VI there should be an SECP for the ship, approved by the Administration.

9.1.2 The SECP should list each item of fuel oil combustion equipment which is to meet the requirements for operating in accordance with the requirements of regulations 14.1 and/or 14.4.

9.1.3 Under Scheme A, the SECP should present how continuous monitoring data will demonstrate that the parameters in paragraph 4.4.7 are maintained within the manufacturer's recommended specifications. Under Scheme B, this would be demonstrated using daily recordings of key parameters.

9.1.4 Under Scheme B, the SECP should present how continuous exhaust gas emissions monitoring will demonstrate that the ship total SO₂ (ppm)/CO₂ (%) ratio is comparable to the requirements of regulation 14.1 and/or 14.4 or below as prescribed in paragraph 1.3. Under Scheme A, this would be demonstrated using daily exhaust gas emission recordings.

9.1.5 There may be some equipment such as small engines and boilers to which the fitting of EGC units would not be practical, particularly where such equipment is located in a position remote from the main machinery spaces. All such fuel oil combustion units should be listed in the SECP. For these fuel oil combustion units which are not to be fitted with EGC units, compliance may be achieved by means of regulations 14.1 and/or 14.4 of MARPOL Annex VI.

9.2 Demonstration of Compliance

9.2.1 Scheme A

9.2.1.1 The SECP should refer to, not reproduce, the ETM-A, EGC Record Book or Engine-Room logger system and OMM as specified under Scheme A. It should be noted that as an alternative, the maintenance records may be recorded in the ship's Planned Maintenance Record System, as allowed by the Administration.

9.2.1.2 For all fuel oil combustion equipment listed under 9.1.2, details should be provided demonstrating that the rating and restrictions for the EGC unit as approved, 4.2.2.1(b), are complied with.

9.2.1.3 Required parameters should be monitored and recorded as required under 4.4.7 when the EGC is in operation in order to demonstrate compliance.

9.2.2 Scheme B

9.2.2.1 The SECP should refer to, not reproduce, the ETM-B, EGC Record Book or Engine-Room logger system and OMM as specified under Scheme B.

10 WASHWATER

10.1 Washwater discharge criteria¹

10.1.1 When the EGC system is operated in ports, harbours, or estuaries, the washwater monitoring and recording should be continuous. The values monitored and recorded should include pH, PAH, turbidity and temperature. In other areas the continuous monitoring and recording equipment should also be in operation, whenever the EGC system is in operation, except for short periods of maintenance and cleaning of the equipment. The discharge water should comply with the following limits:

10.1.2 pH criteria

10.1.2.1 The washwater pH should comply with one of the following requirements which should be recorded in the ETM-A or ETM-B as applicable:

- (i) The discharge washwater should have a pH of no less than 6.5 measured at the ship's overboard discharge with the exception that during manoeuvring and transit, the maximum difference between inlet and outlet of 2 pH units is allowed measured at the ship's inlet and overboard discharge.
- (ii) During commissioning of the unit(s) after installation, the discharged washwater plume should be measured externally from the ship (at rest in harbour) and the discharge pH at the ship's overboard pH monitoring point will be recorded when the plume at 4 metres from the discharge point equals or is above pH 6.5. The discharged pH to achieve a minimum pH units of 6.5 will become the overboard pH discharge limit recorded in the ETM-A or ETM-B.

10.1.3 PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

10.1.3.1 The washwater PAH should comply with the following requirements. The appropriate limit should be specified in the ETM-A or ETM-B.

¹ The washwater discharge criteria should be revised in the future as more data becomes available on the contents of the discharge and its effects, taking into account any advice given by GESAMP.

10.1.3.2 The maximum continuous PAH concentration in the washwater should not be greater than 50 µg/L PAH_{phe} (phenanthrene equivalence) above the inlet water PAH concentration. For the purposes of this criteria, the PAH concentration in the washwater should be measured downstream of the water treatment equipment, but upstream of any washwater dilution or other reactant dosing unit, if used, prior to discharge.

10.1.3.3 The 50 µg/L limit described above is normalized for a washwater flow rate through the EGC unit of 45 t/MWh where the MW refers to the MCR or 80% of the power rating of the fuel oil combustion unit. This limit would have to be adjusted upward for lower washwater flow rates per MWh, and vice-versa, according to the table below.

Flow Rate (t/MWh)	Discharge Concentration Limit (µg/L PAH _{phe} equivalents)	Measurement Technology
0 - 1	2250	Ultraviolet Light
2.5	900	— ” —
5	450	Fluorescence*
11.25	200	— ” —
22.5	100	— ” —
45	50	— ” —
90	25	— ” —

10.1.3.4 For a 15-minute period in any 12-hour period, the continuous PAH_{phe} concentration limit may exceed the limit described above by up to 100%. This would allow for an abnormal start up of the EGC unit.

10.1.4 Turbidity/Suspended Particle Matter

10.1.4.1 The washwater turbidity should comply with the following requirements. The limit should be recorded in the ETM-A or ETM-B.

10.1.4.2 The washwater treatment system should be designed to minimize suspended particulate matter, including heavy metals and ash.

10.1.4.3 The maximum continuous turbidity in washwater should not be greater than 25 FNU (formazin nephelometric units) or 25 NTU (nephelometric turbidity units) or equivalent units, above the inlet water turbidity. However, during periods of high inlet turbidity, the precision of the measurement device and the time lapse between inlet measurement and outlet measurement are such that the use of a difference limit is unreliable. Therefore all turbidity difference readings should be a rolling average over a 15-minute period to a maximum of 25 FNU. For the purposes of this criteria the turbidity in the washwater should be measured downstream of the water treatment equipment but upstream of washwater dilution (or other reactant dosing) prior to discharge.

10.1.4.4 For a 15-minute period in any 12-hour period, the continuous turbidity discharge limit may be exceeded by 20%.

* For any Flow Rate > 2.5 t/MWh Fluorescence technology should be used.

10.1.5 Nitrates

10.1.5.1 The washwater treatment system should prevent the discharge of nitrates beyond that associated with a 12% removal of NO_x from the exhaust, or beyond 60 mg/l normalized for washwater discharge rate of 45 tons/MWh whichever is greater.

10.1.5.2 At each renewal survey nitrate discharge data is to be available in respect of sample overboard discharge drawn from each EGC system with the previous three months prior to the survey. However, the Administration may require an additional sample to be drawn and analysed at their discretion. The nitrate discharge data and analysis certificate is to be retained on board the ship as part of the EGC Record Book and be available for inspection as required by Port State Control or other parties. Requirements in respect of sampling, storage, handling and analysis should be detailed in the ETM-A or ETM-B as applicable. To assure comparable nitrate discharge rate assessment, the sampling procedures should take into account paragraph 10.1.5.1, which specifies the need for washwater flow normalization. The test method for the analysis of nitrates should be according to standard seawater analysis as described in Grasshoff *et al.*

10.1.5.3 All systems should be tested for nitrates in the discharge water. If typical nitrate amounts are above 80% of the upper limit, it should be recorded in the ETM-A or ETM-B.

10.1.6 Washwater additives and other substances

10.1.6.1 An assessment of the washwater is required for those EGC technologies which make use of chemicals, additives, preparations or create relevant chemicals *in situ*. The assessment could take into account relevant guidelines such as resolution MEPC.126(53), procedure for approval of ballast water management systems that make use of active substances (G9) and if necessary additional washwater discharge criteria should be established.

10.2 Washwater monitoring

10.2.1 pH, oil content (as measured by PAH levels), and turbidity should be continuously monitored and recorded as recommended in section 7 of these Guidelines. The monitoring equipment should also meet the performance criteria described below:

pH

10.2.2 The pH electrode and pH meter should have a resolution of 0.1 pH units and temperature compensation. The electrode should comply with the requirements defined in BS 2586 or of equivalent or better performance and the meter should meet or exceed BS EN ISO 60746-2:2003.

PAH

10.2.3 The PAH monitoring equipment should be capable to monitor PAH in water in a range to at least twice the discharge concentration limit given in the table above. The equipment should be demonstrated to operate correctly and not deviate more than 5% in washwater with turbidity within the working range of the application.

10.2.4 For those applications discharging at lower flow rates and higher PAH concentrations, ultraviolet light monitoring technology or equivalent, should be used due to its reliable operating range.

Turbidity

10.2.5 The turbidity monitoring equipment should meet requirements defined in ISO 7027:1999 or USEPA 180.1.

Temperature recording

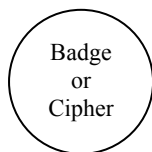
10.3 Washwater monitoring data recording

10.3.1 The data recording system should comply with the requirements of sections 7 and 8 and should continuously record pH, PAH and Turbidity as specified in the washwater criteria.

10.4 Washwater residue

10.4.1 Residues generated by the EGC unit should be delivered ashore to adequate reception facilities. Such residues should not be discharged to the sea or incinerated on board.

10.4.2 Each ship fitted with an EGC unit should record the storage and disposal of washwater residues in an EGC log, including the date, time and location of such storage and disposal. The EGC log may form a part of an existing log-book or electronic recording system as approved by the Administration.

APPENDIX I**FORM OF SO_x EMISSION COMPLIANCE CERTIFICATE*****NAME OF ADMINISTRATION*****SO_x EMISSION COMPLIANCE CERTIFICATE****CERTIFICATE OF UNIT APPROVAL FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS**

Issued under the provisions of the Protocol of 1997, as amended by resolution MEPC.176(58) in 2008, to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 related thereto under the authority of the Government of:

.....
(full designation of the country)

by.....
*(full designation of the competent person or organization
 authorized under the provisions of the Convention)*

This is to certify that the exhaust gas cleaning (EGC) unit listed below has been surveyed in accordance with the requirements of the specifications contained under Scheme A in the Guidelines for exhaust gas cleaning systems – adopted by resolution MEPC.***(**).

This Certificate is valid only for the EGC unit referred to below:

Unit manufacturer	Model/ type	Serial number	EGC System Unit and Technical Manual approval number

A copy of this Certificate, together with the EGC System Technical Manual, shall be carried on board the ship fitted with this EGC System unit at all times.

This Certificate is valid for the life of the EGC System unit subject to surveys in accordance with section 4.2 of the Guidelines and regulation 5 of the revised MARPOL Annex VI, installed in ships under the authority of this Government.

Issued at
(*place of issue of certificate*)

dd/mm/yyyy

.....
(*date of issue*)

.....
(*signature of duly authorized official
issuing the certificate*)

(Seal or Stamp of the authority, as appropriate)

APPENDIX II

PROOF OF THE SO₂/CO₂ RATIO METHOD

1 The SO₂/CO₂ ratio method enables direct monitoring of exhaust gas emissions to verify compliance with emissions limits set out in Table 1 in section 1.3 of these Guidelines. In the case of EGC systems that absorb CO₂ during the exhaust gas cleaning process it is necessary to measure the CO₂ prior to the cleaning process and use the CO₂ concentration before cleaning with the SO₂ concentration after cleaning. For conventional low alkali cleaning systems virtually no CO₂ is absorbed during exhaust gas cleaning and therefore monitoring of both gases can be undertaken after the cleaning process.

2 Correspondence between the SO₂/CO₂ ratio can be determined by simple inspection of the respective carbon contents per unit mass of distillate and residual fuel. For this group of hydrocarbon fuels the carbon content as a percentage of mass remains closely similar, whereas the hydrogen content differs. Thus it can be concluded that for a given carbon consumption by combustion there will be a consumption of sulphur in proportion to the sulphur content of the fuel, or in other words a constant ratio between carbon and sulphur adjusted for the molecular weight of oxygen from combustion.

3 The first development of the SO₂/CO₂ ratio considered its use to verify compliance with emissions from 1.5% S fuel. The limit of 65 (1ppm/%) SO₂/CO₂ for 1.5% sulphur in fuel can be demonstrated by first calculating the mass ratio of fuel sulphur to fuel carbon, which is tabulated in Table 1 in this appendix for various fuels and fuel sulphur contents; including 1.5% sulphur for both distillate and residual fuels. These ratios were used to solve for the corresponding SO₂ and CO₂ concentrations in exhaust, which are tabulated in Table 2 of this Appendix. Molecular weights (MW) were taken into account to convert mass fractions to mole fractions. For the 1.5% sulphur fuels in Table 2, the amount of CO₂ is set first at 8% and then changed to 0.5% to show that there is no effect due to changes in excess air. As expected, the absolute SO₂ concentration changes, but the SO₂/CO₂ ratio does not. This indicates that the SO₂/CO₂ ratio is independent of fuel-to-air ratios. Therefore, SO₂/CO₂ ratio can be used robustly at any point of operation, including operation where no brake power is produced.

Note that the SO₂/CO₂ ratio varies slightly from distillate to residual fuel. This occurs because of the very different atomic hydrogen-to-carbon ratios (H:C) of the two fuels. Figure 1 illustrates the extent of the SO₂/CO₂ ratios' sensitivity to H:C over a broad range of H:C and fuel sulphur concentrations. From Figure 1, it can be concluded that for fuel sulphur levels less than 3.00% S, the difference in S/C ratios for distillate and residual fuel is less than 5.0%.

In the case of using non-petroleum fuel oils, the appropriate SO₂/CO₂ ratio applicable to the values given in regulations 14.1 and/or 14.4 will be subject to approval by the Administration.

Table 1: Fuel properties for marine distillate and residual fuel*

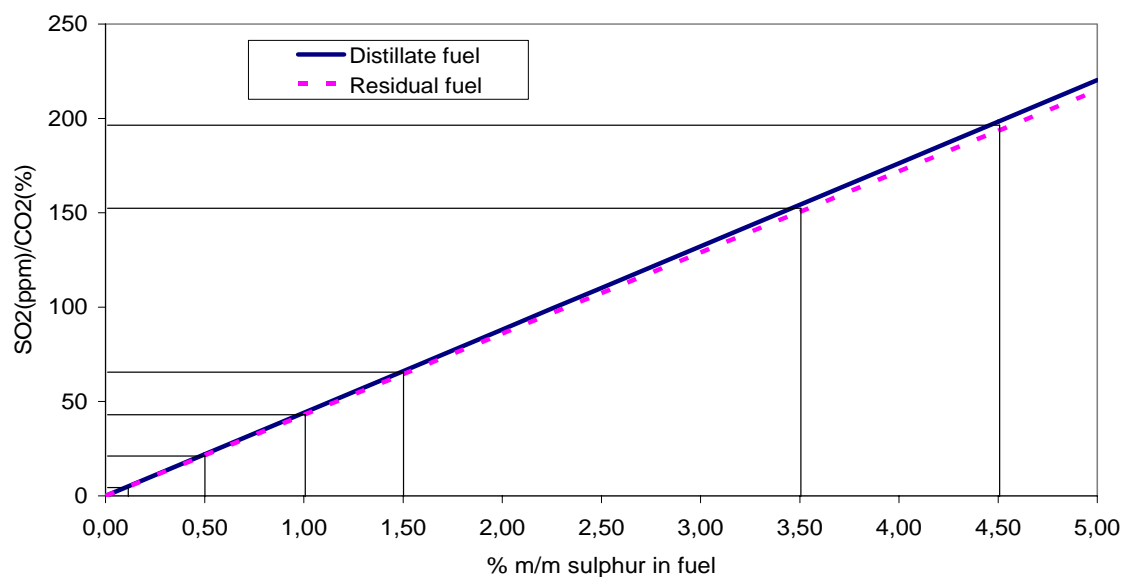
	Carbon	Hydrogen	Sulphur	Other	C	H	S	Fuel S/C	Exh SO ₂ /CO ₂
Fuel Type	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	%(m/m)	mol/kg	mol/kg	mol/kg	mol/mol	ppm/%(v/v)
Distillate	86.20	13.60	0.17	0.03	71.8333	136	0.0531	0.00074	7.39559
Residual	86.10	10.90	2.70	0.30	71.7500	109	0.8438	0.01176	117.5958
Distillate	85.05	13.42	1.50	0.03	70.8750	134.2	0.4688	0.006614	66.1376
Residual	87.17	11.03	1.50	0.30	72.6417	110.3	0.4688	0.006453	64.5291

* Based on properties in the IMO NO_x Monitoring Guidelines, resolution MEPC.103(49).

Table 2: Emissions calculations corresponding to 1.5 % fuel sulphur

	CO ₂	SO ₂	Exh SO ₂ /CO ₂	Exh S/C
	%	ppm	ppm/%	m/m
Distillate 0.17% S	8	59.1	7.4	0.00197
Residual 2.70% S	8	939.7	117.5	0.03136
Distillate 1.5% S	8	528.5	66.1	0.01764
Residual 1.5% S	8	515.7	64.5	0.01721
Distillate 1.5% S	0.5	33.0	66.1	0.01764
Residual 1.5% S	0.5	32.2	64.5	0.01721

SO₂/CO₂ ratio vs % sulphur in fuel



4 Correspondence between 65 (¹ppm/%) SO₂/CO₂ and 6.0 g/kWh is demonstrated by showing that their S/C ratios are similar. This requires the additional assumption of a brake-specified fuel consumption value of 200 g/kWh. This is an appropriate average for marine diesel engines. The calculation is as follows:

Note 1: The S/C mass ratios calculated above, based on 6.0 g/kWh and 200 g/kWh BSFC, are both within 0.10% of the S/C mass ratios in the emissions table (Table 2). Therefore, 65¹ (ppm/%) SO₂/CO₂ corresponds well to 6.0 g/kWh.

Note 2: The value of 6.0 g/kWh, hence the 200g/kWh brake-specified fuel consumption is taken from MARPOL Annex VI as adopted by the 1997 MARPOL Conference.

$$S/C_{fuel} = \frac{\text{brake-specific SO}_2 * (MW_s / MW_{SO_2})}{BSFC * (\% \text{ carbon in fuel} / 100)}$$

$$\text{brake-specific SO}_2 = 6.0 \text{ g/kW-hr}$$

$$MW_s = 32.065 \text{ g/mol}$$

$$MW_{SO_2} = 64.064 \text{ g/mol}$$

$$BSFC = 200 \text{ g/kW-hr}$$

$$\% \text{ carbon in 1.5\% S fuel (from Table 1)} = 85.05\% \text{ (distillate) \& 87.17\% residual}$$

$$S/C_{\text{residual fuel}} = \frac{6.0 * (32.065 / 64.064)}{200 * (87.17\% / 100)}$$

$$S/C_{\text{residual fuel}} = 0.01723$$

$$S/C_{\text{distillate fuel}} = \frac{6.0 * (32.065 / 64.064)}{200 * (85.05\% / 100)}$$

$$S/C_{\text{distillate fuel}} = 0.01765$$

5 Thus, the working formulas are as follows:

$$\text{For complete combustion} = \frac{SO_2 (\text{ppm}^*)}{CO_2 (\%)} \leq 65$$

$$\text{For incomplete combustion} = \frac{SO_2 (\text{ppm}^*)}{CO_2 (\%)* + (CO (\text{ppm}^*) / 10000) + (THC (\text{ppm}^*) / 10000)} \leq 65$$

* Note: gas concentrations must be sampled or converted to the same residual water content (e.g., fully wet, fully dry).

6 The following is the basis of using the (²ppm/%) SO₂/CO₂ as the limit for determining compliance with regulation 14.1 or 14.4:

- (a) This limit can be used to determine compliance from fuel oil burners that do not produce mechanical power.
- (b) This limit can be used to determine compliance at any power output, including idle.
- (c) This limit only requires two gas concentration measurements at one sampling location.
- (d) There is no need to measure any engine parameters such as engine speed, engine torque, engine exhaust flow, or engine fuel flow.
- (e) If both gas concentration measurements are made at the same residual water content in the sample (e.g., fully wet, fully dry), no dry-to-wet conversion factors are required in the calculation.
- (f) This limit completely decouples the thermal efficiency of the fuel oil combustion unit from the EGC unit.
- (g) No fuel properties need to be known.
- (h) Because only two measurements are made at a single location, transient engine or EGCS unit effects can be minimized by aligning signals from just these two analysers. (Note that the most appropriate points to align are the points where each analyser responds to a step change in emissions at the sample probe by 50% of the steady-state value.)
- (i) This limit is independent of the amount of exhaust gas dilution. Dilution may occur due to evaporation of water in an EGC unit, and as part of an exhaust sampler's preconditioning system.

² ppm means "parts per million". It is assumed that ppm is measured by gas analysers on a molar basis, assuming ideal gas behaviour. The technically correct units are actually micro-moles of substance per mole of total amount (μmol/mol), but ppm is used in order to be consistent with units in the NO_x Technical Code.

APPENDIX III

WASHWATER DATA COLLECTION

Background

The washwater discharge criteria are intended to act as initial guidance for implementing EGC system designs. The criteria should be revised in the future as more data becomes available on the contents of the discharge and its effects, taking into account any advice given by GESAMP.

Administrations should therefore provide for collection of relevant data. To this end, shipowners in conjunction with the EGC manufacturer are requested to sample and analyse samples of:

- inlet water (for background);
- water after the scrubber (but before any treatment system); and
- discharge water.

This sampling could be made during approval testing or shortly after commissioning and at about twelve-month intervals for a period of two years of operation (minimum of three samples). Sampling guidance and analysis should be undertaken by laboratories using EPA or ISO test procedures for the following parameters:

- pH
- PAH and oil (detailed GC-MS analysis)
- Nitrate
- Nitrite
- Cd
- Cu
- Ni
- Pb
- Zn
- As
- Cr
- V

The extent of laboratory testing may be varied or enhanced in the light of developing knowledge.

When submitting sample data to the Administration, information should also be included on washwater discharge flow rates, dilution of discharge, if applicable, and engine power should be included as well as specifications of the fuel used from the bunker delivery note as a minimum.

It is recommended that the ship that has provided this information to the satisfaction of the Administration should be granted a waiver for compliance of the existing installation(s) to possible future stricter washwater discharge standards. The Administration should forward information submitted on this issue to the Organization for dissemination by the appropriate mechanisms.
